



BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

# Deckblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Titel der Unterlage:

SCHACHTANLAGE ASSE II  
KONZEPTPLANUNG FÜR EINEN WEITEREN SCHACHT  
ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER ERKUNDUNGSERGEBNISSE REMLINGEN 15 IM  
HINBLICK AUF DIE ANFORDERUNGSKRITERIEN FÜR DEN NEUEN SCHACHT

Ersteller:

DMT, THYSSEN, K-UTEC - ARGE S5

Stempelfeld:

bergrechtlich verantwortliche  
Person:

atomrechtlich verantwortliche  
Person:

Projektleitung:

Freigabe zur Anwendung:

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der BGE.



Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Titel der Unterlage:

SCHACHTANLAGE ASSE II  
KONZEPTPLANUNG FÜR EINEN WEITEREN SCHACHT  
ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER ERKUNDUNGSERGEBNISSE REMLINGEN 15 IM  
HINBLICK AUF DIE ANFORDERUNGSKRITERIEN FÜR DEN NEUEN SCHACHT

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer	Rev. Seite	Kat.*	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

**Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht  
Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15**

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 1 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

## **Schachtanlage Asse II Konzeptplanung für einen weiteren Schacht**

### **Zusammenfassende Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15 im Hinblick auf die Anforderungskriterien für den neuen Schacht**

**DMT GmbH & Co. KG**  
**K-UTEC AG Salt Technologies**  
**Thyssen Schachtbau GmbH**

Essen, 05.04.2018

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 2 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Impressum:

Auftraggeber: Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH  
Willy-Brandt-Str. 5  
38226 Salzgitter  
Telefon: 030 18333-0  
Telefax: 030 18333-1885  
E-Mail: [poststelle@bge.de](mailto:poststelle@bge.de)  
Internet: [www.bge.de](http://www.bge.de)

Ersteller: DMT GmbH & Co. KG  
K-UTEC AG Salt Technologies  
THYSSEN SCHACHTBAU GMBH

Der Bericht wurde im Auftrag der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) erstellt. Die BGE behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der BGE zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 3 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Revisionsblatt

Rev.	Rev.-Stand Datum	revidierte Seite	Kat. (*)	Erläuterung der Revision
00	05.04.2018			Ersterstellung

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Revision  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 4 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Kurzfassung

Autoren:

**Titel:** Konzeptplanung für einen weiteren Schacht  
Zusammenfassende Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15 im  
Hinblick auf die Anforderungskriterien für den neuen Schacht

**Stand:** 05.04.2018

Gemäß §57b AtG ist die Schachtanlage Asse II unverzüglich stillzulegen. Dabei soll die Stilllegung nach Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Anlage erfolgen. Um die Rückholung aller Gebinde unter den bestehenden Randbedingungen der Schachtanlage und unter Berücksichtigung der Anforderungen des Strahlenschutzes realisieren zu können, ist ein weiterer Schacht unabdingbar. Zielstellung im Rahmen dieser Aufgabe ist die Konzeptplanung für das Erstellen dieses Schachtes Asse 5.

Um die Planungen für den neuen Schacht auf eine breite und fundierte Datenbasis stützen zu können, wurde eine geowissenschaftliche Erkundungsbohrung nach Auswahl eines geeigneten Ansatzpunktes /2/ durchgeführt. Mit Hilfe dieser Erkundungsbohrung wurde der mögliche Schachtstandort sowohl geologisch, geophysikalisch als auch hydrogeologisch erkundet und gebirgsmechanisch untersucht. Die dabei gewonnenen Daten dienen der Charakterisierung des Gebirges am ausgewählten Standort, ermöglichen eine Beurteilung des Gebirges in Hinblick auf die Anforderungskriterien und liefern wesentliche Informationen und Daten für die weiteren Planungsphasen.

Im vorliegenden Bericht werden die aus der Erkundungsbohrung gewonnenen geologischen, geophysikalischen, geotechnischen und hydrogeologischen Informationen sowie die gebirgsmechanischen Eigenschaften ausgewählter Gesteinsproben für den Standort der Bohrung Remlingen 15 (R 15) hinsichtlich der Anforderungskriterien für einen neuen Schacht bewertet.

Die Ergebnisse der geowissenschaftlichen Untersuchungen haben gezeigt, dass komplexe geologische und geotechnische Verhältnisse im Deckgebirge vorliegen. Hierzu zählen die Anzahl und der Wechsel der Gesteinsarten mit deutlich unterschiedlichen einaxialen Druckfestigkeiten, die Änderungen des Schichteinfallens zwischen etwa 10° und 90°, mehrere Störungen, ein anisotroper Spannungszustand der drei Hauptnormalspannungen und die Wasserführung des Gebirges. Darüber hinaus ist das Deckgebirge gekennzeichnet durch abschnittsweise unterschiedlich ausgeprägte Trennflächenscharen mit z.T. großer Streuung von Einfallrichtung und Einfallwinkel (Raumlage).

Für eine ausführliche Beschreibung der Gebirgssituation wird auf die Untersuchungsberichte der Firmen K-UTEC, Solexperts, Terratec, IfG, IBeWa verwiesen /5/, /7/, /8/, /9/, /10/, /11/, /12/, /13/, /14/, /15/, /16/, /17/, /18/.

Durch die Auswahl und Anwendung einer geeigneten Teuftechnologie, in Verbindung mit den dazugehörigen Gebirgssicherungs- und Ausbaumaßnahmen ist das Erstellen eines Schachtes anhand der geologisch-geotechnischen Datenbasis am Standort der Erkundungsbohrung Remlingen 15 (R 15) zwar technisch machbar, die generelle Lage am gewählten Standort ist jedoch hinsichtlich der abweichenden geologischen Situation weiter zu untersuchen.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 5 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Die Erkundungsmaßnahmen haben gezeigt, dass die prognostizierten Gebirgsverhältnisse im Salinar deutlich von der vorgefundenen Situation abweichen. Das Staßfurt-Steinsalz, in dem die beiden Füllörter hätten errichtet werden sollen, wurde mit der Bohrung R15 nicht aufgeschlossen. Stattdessen wurde anhydritisches Steinsalz, vereinzelt mit carnallitischen Anteilen und mehreren steil einfallenden Anhydritbänken bis zur Endteufe durchbohrt. Die geologische Struktur und räumliche Ausdehnung der Salzstruktur am Standort des geplanten Schachtes ist zurzeit unsicher /28/. Dies kann ggf. dazu führen, dass Sicherheitsabstände im Salinar zu potentiell wasserführenden Deckgebirgsschichten für geplante Füllortbereiche und die notwendige untertägige Infrastruktur nicht eingehalten werden können. Bei Einhaltung der erforderlichen Sicherheitsabstände (nach §224 ABVO /23/) ist es deshalb nicht auszuschließen, dass das obere Füllort ggf. aus der Planung herausgenommen werden und das untere Füllort nach der untertägigen Erkundung mittels untertägiger Bohrungen (z.B. Bohrprogramm nach ARGE /21/, begleitet von geophysikalischen Messungen, wie Bohrlochradar) an die tatsächlichen räumlichen Verhältnisse im Salinar angepasst werden muss. Eine Möglichkeit besteht z.B. im Versetzen des Füllortes in eine größere Teufe mit lateral größerer Ausdehnung der Salzstruktur. Eine endgültige Aussage zur Eignung des Standortes ist erst nach Vorliegen der Ergebnisse der untertägigen Erkundung mittels Horizontal- und Schrägbohrungen möglich. Ggf. kann auch eine Verlagerung des Ansatzpunktes ein Ergebnis dieser auf Grund der angetroffenen geologischen Situation zusätzlich erforderlichen Erkundungsmaßnahmen sein.

# Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

## Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 6 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

### Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	4
Inhaltsverzeichnis .....	6
Abbildungsverzeichnis .....	8
Tabellenverzeichnis .....	9
Anhangverzeichnis .....	10
Abkürzungsverzeichnis und Glossar .....	11
1            Allgemeines .....	13
1.1        Ziel der Bohrung .....	13
1.2        Aufgabenstellung .....	13
2            Methodische Vorgehensweise .....	15
3            Gliederung des Gebirges der Bohrung Remlingen 15 in Homogenbereiche .....	17
3.1        Einteilung des Gebirges anhand wesentlicher Gebirgsparameter in Homogenabschnitte .....	17
3.2        Einteilung der Ergebnisse wichtiger Gesteinsparameter in Homogenbereiche (nach Laboruntersuchungen) .....	27
3.2.1    Gesteinsparameter auf Basis der Laboruntersuchungen .....	27
3.2.2    Gesteinsparameter auf Basis der geophysikalischen Bohrlochuntersuchungen) .....	35
4            Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung Remlingen 15 .....	42
4.1        Deckgebirge einschließlich „Hutgestein“ .....	42
4.2        Salinar .....	44
5            Gebirgsspannungen .....	48
6            Gebirgswässer .....	51
6.1        Hydraulische Eigenschaften des Gebirges .....	51
6.2        Prognose der Gebirgswasser-Zuflüsse zum geplanten Schacht Asse 5 .....	56
6.3        Chemismus, Alter und Aggressivität der untersuchten Gebirgswässer in der Bohrung Remlingen 15 .....	61
7            Festlegung von Homogenabschnitten für den Schacht .....	63
8            Bewertung der ermittelten Parameter hinsichtlich der Erstellung eines Schachtes ..	75
8.1        Teufverfahren .....	75
8.2        Gebirgssichernde Maßnahmen .....	77
8.3        Schachtausbau .....	80
8.4        Bewertung des Standortes hinsichtlich der Anforderungskriterien .....	82
9            Literaturverzeichnis .....	86
10          Anhänge .....	89

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 7 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Gesamtseitenzahl des Textteils: 88

Gesamtseitenzahl mit Anhängen: 94

Stichworte: Asse, Schacht Asse 5, Erkundungsbohrung Remlingen 15, Geologie, Hydrogeologie, Mess- und Untersuchungsprogramm, Bohrlochgeophysik, Geowissenschaftliche Untersuchung, Schachtstandort

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 8 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: $\gamma$ -Strahlung in Abhängigkeit der Teufe (Untersuchungsbohrung Remlingen 15) .....	17
Abbildung 2: Mittlere Einfallrichtung je Teufmeter (Nord bei Azimut 0°).....	18
Abbildung 3: Mittlerer Einfallwinkel je Teufmeter (rote Linien markieren die Abtrennung der Klassengrenzen entsprechend Tabelle 1).....	19
Abbildung 4: Summenkurve potentieller Schichtflächen über der Bohrteufe .....	21
Abbildung 5: Nachbruchtiefe der Bohrlochwand über der Teufe im Deckgebirge .....	24
Abbildung 6: Ergebnisse der Dilatometermessungen .....	25
Abbildung 7: Zuordnung der einaxialen Druckfestigkeiten aus einaxialen (Dreieck) und triaxialen (Quadrat) Labortests zur Teufe.....	29
Abbildung 8: Verteilung ausgesuchter Mineralphasen im Gesamtgestein (Pulverpräparat) vs. Probenteufe (unkorrigiert) /13/.....	32
Abbildung 9: Verteilung ausgesuchter Mineralphasen in der Tonfraktion (Texturpräparat), Gehalt der Tonfraktion am Gesamtgestein und auf das Gesamtgestein berechneter Montmorillonitgehalt vs. Probenteufe (unkorrigiert) /13/ .....	33
Abbildung 10: Verteilung der Wasserempfindlichkeit (hinsichtlich Quellen) vs. Probenteufe (unkorrigiert) und Vergleich mit den mineralogischen Daten /13/ .....	34
Abbildung 11: Mittlere Gesteinsdichten je Teufmeter .....	36
Abbildung 12: Überblick über Änderungen des E-Moduls und Schubmoduls mit der Teufe.....	37
Abbildung 13: Übersicht über die dynamischen und statischen E-Moduli (dynamische E-Moduli wurde aus den geophysikalischen Messungen für die Punkte, wo statische Messwerte vorlagen, ausgelesen) .....	39
Abbildung 14: Verhältnis dynamischer E-Modul zum statischen E-Modul des Gesteins und Gebirges im Deckgebirge .....	40
Abbildung 15: Änderung der Poissonzahl mit der Teufe (Mittelwerte je Teufmeter).....	41
Abbildung 16: Relative Standfestigkeit des Deckgebirges in der Bohrung Remlingen 15 .....	43
Abbildung 17: Schachtdeformation infolge Kriechverformung für unterschiedliche Teufen .....	46
Abbildung 18: Spannungsfeld im Bereich der Bohrung Remlingen 15 /11/ .....	49
Abbildung 19: Ergebnisse der Durchlässigkeits-Untersuchungen in der Bohrung Remlingen 15 /10/ .....	55
Abbildung 20: Ergebnisse der Frischwasserdruckhöhen in der Bohrung Remlingen 15 /10/ .....	58
Abbildung 21: Darstellung der Elemente eines Gleitschachtausbaus .....	80
Abbildung 22: Geologische Situation und Anschluss an das Grubengebäude auf der 595-m-Sohle (links) und der Anschluss an das Grubengebäude auf der 700-m-Sohle (rechts) /2/ .....	83
Abbildung 23: Mögliche Anordnung von Infrastrukturräumen auf der 700-m-Sohle (Variante 2) /20/ .....	84



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 9 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassen des Schichteinfallens .....	19
Tabelle 2:	Gliederung der Lagerungsverhältnisse in der Bohrung Remlingen 15 .....	20
Tabelle 3:	Öffnungsweiten von Klüften in der Bohrung Remlingen 15 .....	22
Tabelle 4:	Störungen im Deckgebirge und Anhydritbänke im Salinar der Bohrung Remlingen 15 (Singularitäten) und Prognose der Abschnittslängen im geplanten Schacht (aus /5/) .....	23
Tabelle 5:	Verformungsklassen nach A.F.T.E.S Klassifizierung /24/ .....	25
Tabelle 6:	In situ gemessene Zugfestigkeiten nach hydraulischen Spannungsuntersuchungen .....	27
Tabelle 7:	Zusammenfassung der Laborergebnisse /12/ .....	28
Tabelle 8:	Gesteinsdichten / Wassergehalte im Deckgebirge nach Laboruntersuchungen /12/ .....	30
Tabelle 9:	Dynamische E-Moduli und Schubmoduli in den Homogenabschnitten.....	38
Tabelle 10:	Klassen der Bohrloch-Standfestigkeit .....	42
Tabelle 11:	Ergebnisse der Berechnungen des Spannungsfeldes (Fa. MeSy-Solexperts) /11/ ..	48
Tabelle 12:	Ergebnisse der hydraulischen Bohrlochuntersuchungen in der Bohrung Remlingen 15 .....	52
Tabelle 13:	Klassen der Durchlässigkeit.....	56
Tabelle 14:	Klassifizierung der Wasserzuflüsse bei gleichmäßigem Zutritt über die gesamte Gebirgsoberfläche .....	56
Tabelle 15:	Prognose der Wasserzuflüsse zum geplanten Schacht mit einem Außendurchmesser von DA = 10 m (Zufluss-Prognose ist pro Stunde und pro Tag errechnet) .....	60
Tabelle 16:	Relevante chemische Bestandteile und Eigenschaften, Alter und Typ der Grundwässer .....	61
Tabelle 17:	Expositionsklassen: Grenzwerte bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwässer <sup>1) 2)</sup> .....	62
Tabelle 18:	Homogenabschnitt I.....	64
Tabelle 19:	Homogenabschnitt II.....	65
Tabelle 20:	Homogenabschnitt III.....	67
Tabelle 21:	Homogenabschnitt IV .....	69
Tabelle 22:	Homogenabschnitt V .....	71
Tabelle 23:	Homogenabschnitt VI .....	72
Tabelle 24:	Homogenabschnitt VII .....	74

## Schachanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 10 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Anhangverzeichnis

- Anhang 1: Übersicht der schachtbautechnisch relevanten Parameter und Daten
- Anhang 2: Stereografische Gefügedarstellung - Detaillierte Einteilung des Gefüges der Remlingen 15 in Homogenabschnitte

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 11 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Abkürzungsverzeichnis und Glossar

Abb.	Abbildung
ABF	Akustisches Bohrlochfernsehen
ABVO	Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen
A.F.T.E.S.	Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain
AtG	Atomgesetz
Best fit	optimaler Wert (wahrscheinlichster Wert)
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
E-Modul	Elastizitätsmodul
EMR	Bodenradar / Elektromagnetische Reflexionsmessung
Fa.	Firma
FWS	Full Wave Sonic
Ggf.	gegebenenfalls
IBeWa	Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser- und Deponietechnik
IfG	Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig
R 15	Erkundungsbohrung Remlingen 15
Radar	Radio Detection and Ranging
RMR	Rock mass rating
RQD	Rock Quality Designation
z.T.	zum Teil

### Formelzeichen und Einheiten

CPS	Counts Per Second
K	Kelvin
kJ	Kilojoule
m	Meter
MPa	Megapascal
m <sup>3</sup> /d	Kubikmeter pro Tag
m/d	Meter pro Tag
m <sup>3</sup> /h	Kubikmeter pro Stunde
m/h	Meter pro Stunde
mNN	Höhe bezogen auf Normalnull
mT	Meter Teufe

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 12 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

$S_h$  kleinere horizontale Hauptnormalspannung

$S_H$  größere horizontale Hauptnormalspannung

$S_v$  Vertikalspannung

$t_p$  Laufzeit der p-Welle

$t_s$  Laufzeit der s-Welle

$\mu\text{S/cm}$  Mikrosiemens pro Zentimeter

% Prozent

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 13 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

# 1 Allgemeines

## 1.1 Ziel der Bohrung

In der Schachtanlage Asse II sind derzeit rd. 124.500 Behälter mit schwach radioaktiven Abfällen sowie etwa 1.300 Gebinde mit mittlerradioaktiven Abfällen eingelagert. Gemäß §57b AtG ist die Schachtanlage Asse II unverzüglich stillzulegen. Dabei soll die Stilllegung nach Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Anlage erfolgen. Um die Rückholung aller Gebinde unter den bestehenden Randbedingungen der Schachtanlage unter Berücksichtigung der Anforderungen des Strahlenschutzes realisieren zu können, ist ein weiterer Schacht unabdingbar.

Für die notwendigen Planungsarbeiten ist es unter anderem notwendig, die geologisch-tektonischen Verhältnisse entlang der geplanten Schachtachse zu kennen. Mit der Bohrung Remlingen 15 wurde an der ausgewählten Vorzugslokation /2/ eine Erkundungsbohrung bis in eine Teufe von 900 m abgeteuft und geowissenschaftlich untersucht. Die hierbei gewonnenen Kenntnisse gehen neben einer generellen geowissenschaftlichen Bewertung des möglichen Schachtansatzpunktes als ein Teil der Basisdaten in die schachtbautechnische Bewertung des Standortes ein.

## 1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen der zu erbringenden Planungsleistungen wurde im Zuge der Konzeptplanung für einen weiteren Schacht zunächst eine Ansatzfläche für einen möglichen weiteren Schachtstandort ausgewählt und festgelegt /2/. An dieser Vorzugslokation sollte eine Erkundungsbohrung abgeteuft werden, um die Eignung des Standortes für einen möglichen Schacht zu prüfen.

Für die weiteren Planungsarbeiten zum Schachtabteufen und Schachtausbau wurden die geologischen Standortverhältnisse unter Berücksichtigung des verfügbaren Kenntnis- und Wissensstandes vor der Ausführung der Bohrung Remlingen 15 für die konkrete Planung der Bohr- und Testarbeiten zusammengetragen und ein Bohr- und Testprogramm erstellt /3/, /1/.

Folgende wesentliche Anforderungen wurden an den Schachtstandort und an den neuen Schacht gestellt:

- Ein ausreichender horizontaler Abstand der Schachtbohrung zu der Deckgebirgsgrenze und den potenziell wasserführenden Schichten des Buntsandsteins auf der Nord- und Südflanke des Assesattels. Erst in einer Entfernung von 150 m zum Grubengebäude (vgl. §224 ABVO /23/) kann sich das südliche Widerlager des Stützgewölbes im Deckgebirge wieder aufbauen /2/.
- Fernbleiben von lösungsführenden Schichten im Salinar (z.B. Anhydrit, Anhydritmittel, etc).
- Fernbleiben von mächtigeren hygroskopisch empfindlichen Gesteinen (Carnallit u.a.).
- Eine ausreichende Hohlraumverfügbarkeit für die Füllörter und die Infrastrukturräume im Salinar.

Mit der Erkundungsbohrung Remlingen 15 wurde schließlich der ausgewählte Standort geowissenschaftlich bis in eine Teufe von 900 m erkundet. Dabei wurden neben geologischen Informationen auch geotechnische, geophysikalische und hydrogeologische Kennwerte erfasst und ausgewertet.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 14 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Des Weiteren wurden aus den gewonnenen Bohrkernen entsprechende Proben entnommen und hinsichtlich der gesteinsphysikalischen Eigenschaften im Labor untersucht. Über die gewonnenen geologischen, hydrogeologischen, geophysikalischen und geotechnischen Ergebnisse der Erkundungsbohrung Remlingen 15 wurde bereits umfänglich berichtet /5/. Der vorliegende Bericht bewertet nunmehr die Erkundungsergebnisse u.a. im Hinblick auf Lithologie, Tektonik, Nachbruch, Verformung, Wasser, Standfestigkeit, und legt Homogenbereiche anhand bautechnisch relevanter geologischer, geotechnischer und hydrogeologischer Parameter und Kenngrößen fest, die in weiteren Arbeitsschritten für die Planung des Schachtes Asse 5 verwendet werden sollen (Anhang 1). Darüber hinaus werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Anforderungen an den neuen Schacht hinsichtlich folgender Aspekte diskutiert:

- In Frage kommende Schachtteufverfahren.
- Konzeption des Schachtausbaus als Gleitschacht.
- Einhaltung von Sicherheitsabständen (u.a. zum Grubengebäude, zum Deckgebirge und zu lösungsmittelführenden Salinarschichten) /23/.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 15 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

## 2 Methodische Vorgehensweise

Das durchgeführte geowissenschaftliche Erkundungsprogramm hat umfangreiche Messergebnisse geliefert, die für die Planung eines neuen Schachtes in Bezug auf geeignete Teufverfahren, Gebirgssicherungs- und Abdichtungsmaßnahmen vor und während des Teufens, den Schachtausbau usw. erforderlich sind.

Da es bei der Schachterstellung technisch und wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, in kurzen Teufabschnitten das Teufverfahren oder die Ausbautechnik umzustellen, ist es zweckmäßig, den Schacht in Teuf- bzw. Schachtabschnitte zu unterteilen, in denen eine einheitliche Teuftechnik, Gebirgssicherung und ein geeigneter Schachtausbau angewendet werden kann.

Die gesteins- und gebirgsspezifischen Parameter werden zunächst einzeln betrachtet (siehe Tabellen und Diagramme im Text). Während sich die gesteinspezifischen Eigenschaften auf einzelne durch Trennflächen begrenzte Gesteinskörper beschränken (Gesteinsfestigkeiten, Dichte, Porosität, Elastizität, Gesteinsdurchlässigkeit etc.), beziehen sich die gebirgsspezifischen Eigenschaften auf ein System aus Gesteinskörpern (Schichtlagerung, Art und Anzahl von Trennflächen und Trennflächenscharen, Trennflächenabstand, Größe der Kluffkörper, Gebirgsdurchlässigkeit etc.).

Entlang der Bohrung Remlingen 15 wurden eine Reihe Gesteins- und Gebirgsparameter am Bohrkern wie Gesteinsart, Konsistenz, Trennflächen etc. (Fa. K-UTECH /5/) sowie im Bohrloch gemessener Gesteins- und Gebirgsparameter wie Gesteinsdichte, Raumlage des Trennflächengefüges, Bohrlochwandausbrüche, Bohrlochkonvergenz, Leitfähigkeit, Temperatur etc. (Fa. Terratec /9/) durchgehend dokumentiert.

Darüber hinaus wurden eine Reihe Detailuntersuchungen an Bohrkernen und in der Bohrung Remlingen 15 durchgeführt, deren Ergebnisse sich auf bestimmte Teufen oder Teufenabschnitte beziehen und aufgrund der Inhomogenität und Anisotropie des Gebirges nur eingeschränkt auf andere Teufen übertragen werden können.

Detailuntersuchungen an Bohrkernen im Labor (einaxiale und triaxiale Gesteinsdruckfestigkeiten, Permeabilität, Tonmineral-Zusammensetzung etc.) wurden an repräsentativen Stichproben ausgewählter Kernproben der unterschiedenen Lithotypen von der Fa. IfG /12/ bzw. Fa. IBeWa /13/,/14/ durchgeführt.

Detailuntersuchungen in ausgewählten Teufenniveaus bzw. Teufenabschnitten in der Erkundungsbohrung beziehen sich auf hydrogeologische Parameter: Durchlässigkeit, Transmissivität, Speichervermögen u.a. nach abschnittswisen Bohrlochtests (Constant Rate und Head Tests, Injektions- vs. Pumptests, Slug- und Pulse-Tests) Fa. Solexperts /10/, auf Untersuchungen der statischen Elastizitäts- und Verformungsmoduli des Gebirges nach Dilatometermessungen der Fa. Solexperts /18/ und auf hydraulische Spannungsmessungen zur Bestimmung des Spannungszustandes am geplanten Standort des Schachtes, Fa. MeSy-Solexperts /11/.

Von der BGR wurde der Salinarteil der Erkundungsbohrung Remlingen 15 weiter geochemisch-mineralogisch untersucht. Die Ergebnisse finden sich in /28/.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 16 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Zur Beurteilung geeigneter Schachtteufverfahren und Schachtausbauten wurde ein Großteil der umfangreichen Messergebnisse (geologische und geotechnische Untersuchungen an Bohrkernproben sowie geophysikalische, hydrogeologische und technische Messungen im Bohrloch) in Tabellen und Diagrammen zusammengestellt, analysiert und in Bezug auf teufenabhängige Änderungen und Homogenität interpretiert.

Im ersten Arbeitsschritt wurden die wesentlichen geophysikalischen Messdaten von bautechnisch relevanten Parametern für Teufenintervalle von 1 m gemittelt, um die z.T. großen Streuungen der Einzelwerte für eine Analyse und Interpretation der Daten bezüglich der Eigenschaften und des Verhaltens des Gebirges mit der Teufe zu verringern. Hierzu zählen

- Relativer Ton- / Schluffanteil,
- Gesteinsdichte,
- Elastizitätsparameter E-Modul und Schermodul,
- Querdehnungszahl (Poissonzahl),
- Raumlage des Trennflächengefüges (Einfallrichtung und Einfallwinkel von Schicht- und Klufflächen,
- Lage und Tiefe von Bohrlochwandausbrüchen.

Eine Unterscheidung des relativen Anteils von Ton und Schluff von den übrigen klastischen und chemischen Gesteinen der Schichtenfolge des Assesattels erfolgte indirekt mit Hilfe des Gamma-Logs (indirekter Nachweis über das  $K^{40}$ -Isotop). Diese Auswertungen ermöglichen eine erste Gliederung der Schichtenfolge in Gebirgseinheiten.

Die für die Erstellung der Konzeptplanung aus den Untersuchungen der Erkundungsbohrung Remlingen 15 gewonnenen relevanten Daten, Ergebnisse und Prognosewerte sind den nach geotechnischen Kriterien festgelegten Teufenabschnitten tabellarisch im Anhang 1 zugeordnet. Bei Angaben eines Mittelwertes aus nur wenigen Einzelwerten wurde die Anzahl der Messwerte hinzugefügt. Sofern eine Mittelwertbildung aufgrund einer zu geringen Anzahl an Messwerten nicht sinnvoll erscheint, wurde der minimale und maximale Wert angegeben.

Im Kapitel 8 erfolgt eine Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich der Erstellung eines Schachtes am geplanten Standort. Es werden geeignete Teufverfahren, gebirgssichernde Maßnahmen und Ausbaumaßnahmen diskutiert und bewertet.

Darüber hinaus wird untersucht, inwieweit Sicherheitsabstände zum Deckgebirge und zum Grubengebäude eingehalten werden bzw. ob aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus den Ergebnissen der Bohrung Remlingen 15 weitere Erkundungsmaßnahmen folgen müssen.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

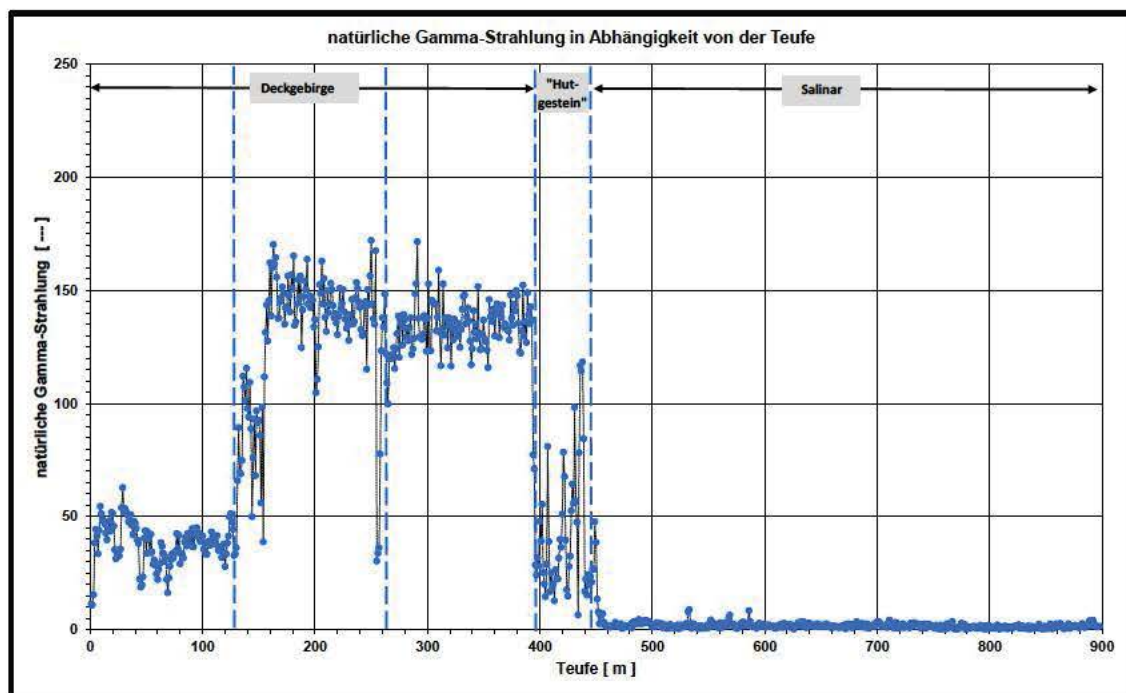
Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 17 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

## 3 Gliederung des Gebirges der Bohrung Remlingen 15 in Homogenbereiche

### 3.1 Einteilung des Gebirges anhand wesentlicher Gebirgsparameter in Homogenabschnitte

#### Gebirgsart und Gebirgstyp

Eine grobe Charakterisierung und Unterteilung der aufgeschlossenen Schichtenfolge in der Bohrung Remlingen 15 ist anhand des relativen Tongehaltes mit Hilfe der Messdaten der  $\gamma$ -Sonde möglich. Je höher die Zählrate der  $\gamma$ -Strahlung (CPS = Counts Per Second), desto höher ist i.allg. der Tonanteil (vorwiegend der Anteil des Kaliumisotops  $K^{40}$ ) am Gestein. Die Messdaten in Abbildung 1 wurden jeweils über einen Teufmeter gemittelt.



**Abbildung 1:**  $\gamma$ -Strahlung in Abhängigkeit der Teufe (Untersuchungsbohrung Remlingen 15)

Bis ca. 131 m stehen Kalkstein und Mergelschichten in einer Wechsellagerung an.

Von 131 bis ca. 155 m nimmt der Tonanteil zu. Die  $\gamma$ -Strahlung streut jedoch aufgrund von Gips und Anhydrit-Zwischenlagen z.T. erheblich.

Zwischen 155 und ca. 395 m besteht das Gebirge aus einer Wechsellagerung von Schluffsteinen, Tonsteinen und tonigen Schluffsteinen mit tonig-schluffigen Sandsteinschichten.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 18 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Dabei sind die als Tonsteine bezeichneten Gebirgsschichten nach den Prozentanteilen am Gesamtgestein, i. allg. <30 % (s. Bericht IBeWa), überwiegend als schwach bis stark tonige Schluffsteine einzustufen.

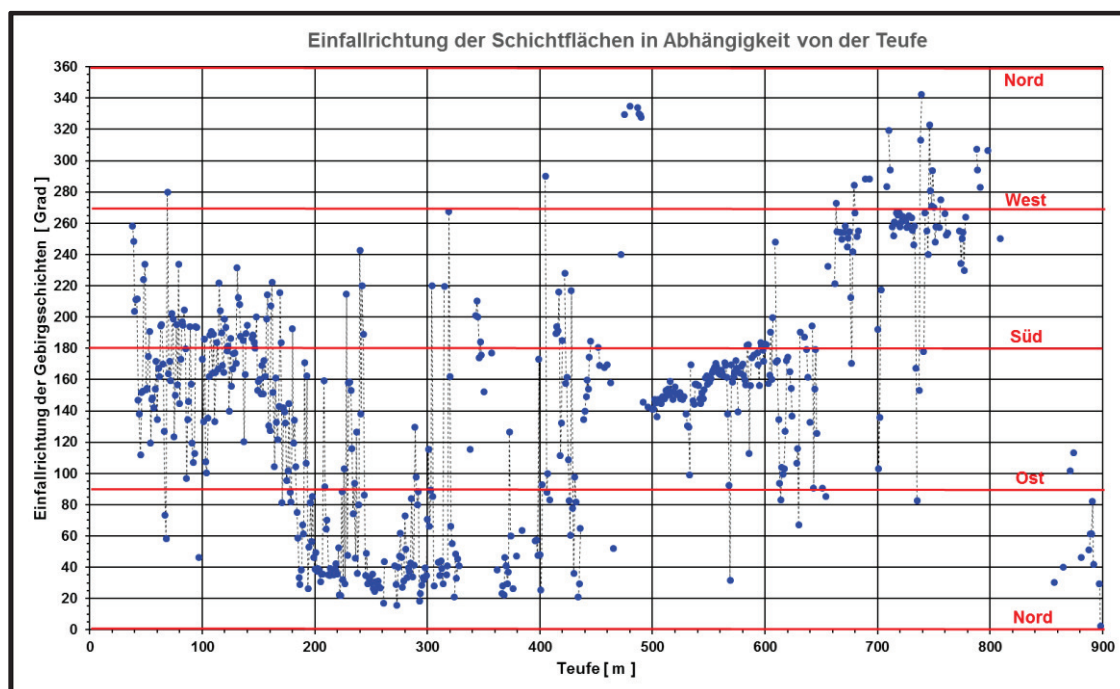
Das „Hutgestein“ zwischen 395 und ca. 443 mT zeichnet sich durch große Streuungen der  $\gamma$ -Strahlung infolge von Anhydrit mit schluffig-tonigen Lagen und Brekzien aus. Während im Abschnitt von ca. 395 mT bis ca. 429 mT vorwiegend Anhydrit und Gips aufgeschlossen wurden, im Bereich von ca. 429 mT bis ca. 436 mT und ca. 439 mT bis ca. 443 mT Brekzien aus Gips, Anhydrit und Tonstein anstehen, besteht der Abschnitt von ca. 436 mT bis 439 mT aus einem massiven, z.T. plastischen Ton. Im  $\gamma$ -Log (Abbildung 1) ist dieser Ton deutlich erkennbar.

Ab ca. 443 m stehen Steinsalz, anhydritisches Steinsalz mit einzelnen Anhydritbänken an. Die  $\gamma$ -Strahlung ist hier erwartungsgemäß sehr gering.

#### Gebirgsstruktur und Trennflächengefüge

Zu den Großstrukturen, die von der Untersuchungsbohrung Remlingen 15 aufgeschlossen wurden, gehören der Asse-Sattel mit den in der Schichtenfolge auftretenden tektonischen Störungen.

Von der Fa. Terratec wurde anhand eines Scans der Bohrlochwand mittels einer akustischen Fernsonde (ABF) das Einfallen der Schicht-, Kluft- und Störungsflächen untersucht mit Symbolen gekennzeichnet und anschließend in stereographischen Polpunkt-Diagrammen dargestellt. Die Abgrenzung zur Teufe erfolgte dabei weitgehend nach den stratigraphischen Einheiten. Von der ARGE wurde eine weitere teufenabhängige Unterteilung der Gefügedaten nach größeren Änderungen der Einfallrichtung und des Einfallwinkels vorgenommen. Einen Überblick über die Veränderungen der Einfallrichtung und des Einfallwinkels der Schichtflächen mit der Teufe erschließt sich anhand der beiden folgenden Diagramme.

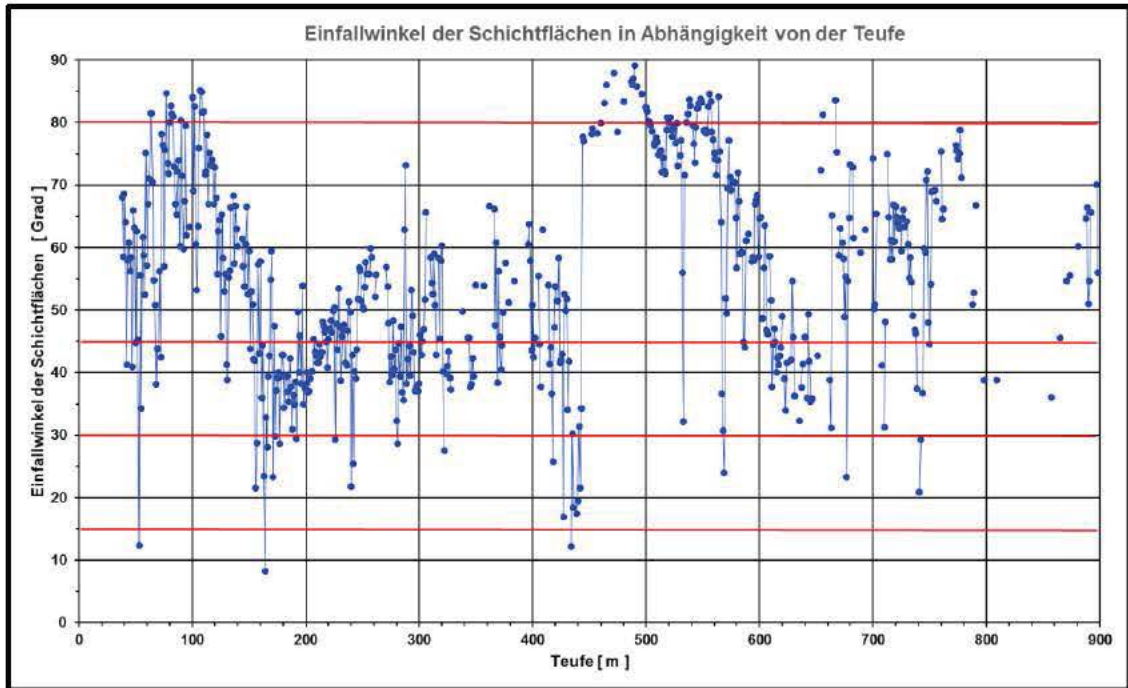


**Abbildung 2: Mittlere Einfallrichtung je Teufmeter (Nord bei Azimut 0°)**



**Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht**  
**Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15**

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 19 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018



**Abbildung 3: Mittlerer Einfallwinkel je Teufmeter (rote Linien markieren die Abtrennung der Klassengrenzen entsprechend Tabelle 1)**

Sofern innerhalb eines Teufmeters mehrere Schichtflächen von der Fa. Terratec aufgenommen wurden, sind diese in den Diagrammen als Mittelwert je Teufmeter angegeben.

Die Einfallrichtung der Schichtenfolge im Deckgebirge (Abbildung 2) wechselt mehrfach von SW bis W nach NE und zurück. Im Salinar zeigt sich ebenfalls ein Wechsel des Schichteinfalls von S nach W und zurück nach E bis NE. Unterhalb von 600 mT dreht das Schichteinfallen von SE über WSW und NW nach NE. Das Einfallen der Trennflächen (Abbildung 3) wechselt zwischen etwa 10° und 90° und wurde nach Erfahrungen der ARGE entsprechend Tabelle 1 klassifiziert:

**Tabelle 1: Klassen des Schichteinfalls**

0 - 15°	flach
15° - 30°	geneigt
30° - 45°	halb steil
45° - 80°	steil
80° - 90°	saiger

Der größte Teil der Gebirgsstruktur entfällt auf die steile und saigere Lagerung (Tabelle 2). Im Deckgebirge gehören hierzu die Teufenabschnitte im Unteren Muschelkalk, im Oberen Buntsandstein sowie die Abschnitte 16 und 17 des „Hutgesteins“. Im Salinar wurden alle Teufenabschnitte der saigeren und steilen Lagerung zugeordnet. Die Abgrenzung der Teufenabschnitte erfolgte hier im Wesentlichen anhand der wechselnden Einfallrichtung.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 20 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

**Tabelle 2: Gliederung der Lagerungsverhältnisse in der Bohrung Remlingen 15**

Gebirge	lfd.Nr.	Schichtung SS				Klüftung K				Störungen			Bemerkungen			
		Bohrabschnitt von [m]	bis [m]	Anzahl SS [n]	ER= Einfallrichtung [---]	EW = Einfallwinkel [Grad]	abschnitt von .. bis .. [m]	K1 (geschätzt) ER1 [---]	K2 (geschätzt) ER2 [---]	R (Zufallsdaten) ER2 [Grad]	ER [---]	EW [Grad]				
Deckgebirge	1	37	52	22	1,5	S-SW	von 68→12	37	E	60	NNE	25	vorhanden	k.A.	k.A.	vermutlich 3. Klüftschär
	2	52	112	92	1,5	S-SW	12→85	125-162	SSW	50	NNE	40	vorhanden	k.A.	SSW	20
	3	112	122	45	4,5	S-SW	70→55	162-177	SSW	50	NNE	50	"	"	SSW	50
	4	122	126	20	5,0	S-SW	55→65	177-190	SW	50	NNE	50	"	"	SSE	50
	5	126	130	26	6,5	S-SW	65→40	190-259	W	45	SE	40	"	"	SE	75-80
	6							255-340	*)	*)	*)	*)	*)	*)	ESE	65
	7							340-365	---	---	---	---	nv?	95(?)	SSW	40
Deckgebirge	8	130,4	133	--	--	SSW-SSE	40→55	365-417	NNE	60	*)	*)	?)	NW	37-40	
	9	136	160	61	2,5	SW-S; S-SE	70-20	125-162	SSW	50	NNE	40	vorhanden	--	--	Störungen nicht auszu-schließen, aber durch keine Untersuchungsergebnisse belegbar!
	10	160	168	24	3,0	SW-SE	60-25	162-177	SSW	50	NNE	50	"	--	--	
	11	168	171	7	2,3	SW-SE	60-40	177-190	SW	50	NNE	50	"	--	--	
	12	171,8	259	328	3,8	SE-NE; NE	25→60	190-259	W	45	SE	40	"	--	--	
	13	260	338	150	1,9	NNE-E	30-60	255-340	*)	*)	*)	*)	*)	--	--	wenige Klüfte, stark streuend keine Klüfte interpretiert
	14	343	361	23	1,3	SW-SE	40-55	340-365	---	---	---	---	nv?	--	--	
	15	367	394,3	19	0,7	NE	40-60	365-417	NNE	60	*)	*)	?)	--	--	
"Hutgestein"	16	394,3	409	21	1,4	NE-E	40-60	405-411	NE	70	---	---	?)	--	--	nur 2 Klüfte interpretiert Z.T gestört, verbunden mit Ablagungen und Umlagerungen
	17	411	416	21	4,2	S-SW	40-55	411-434	*)	*)	*)	*)	?)	--	--	
	18	416	439,6	19	0,8	NE-SW	15-45	434-450	*)	*)	*)	*)	*)	--	--	
	19	439,6	443,8	8	1,9	S-SE	20-35							--	--	
Salinar	20	450	468			S-SSE	80-65	450-468	---	---	---	---	nv?	--	--	*) stark streuend *) nur in Anhydrit-Bänken!
	21	468	494			NNW	85-90	468-494	---	---	---	---	nv?	--	--	
	22	494	565			SE-SSE	85→70	494-565	---	5-15	---	---		--	--	
	23	565	600			SSE-S	85→65	565-600	15**)	N-NE*)	30*)	---		--	--	
	24	600	660			S-E; SW	65→40	660-660	12**)	ENE-E*)	---	---		--	--	
	25	660	810			WSW-NW	25-80	660-810	10**)	WSW*)	80*)	*)	?)	--	--	
	26	810	900			ESE-NE	35→70	810-900	1**)	---	---	---	?)	--	--	

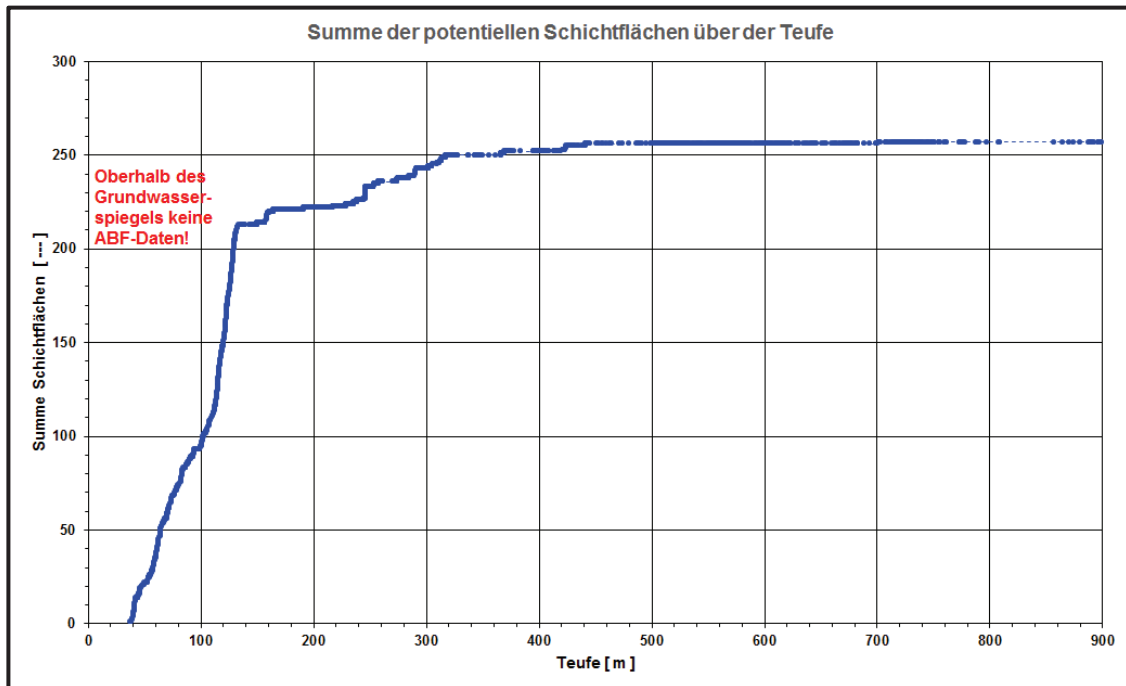


## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 21 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Die größte Anzahl an potentiellen Schichtflächen wurde im oberflächennahen Deckgebirge (Kalksteine, Kalkmergelsteine des Unteren Muschelkalks) ermittelt (Abbildung 4). Im Gegensatz hierzu wurden in den tonreichen Abschnitten 4 und 7 keine bzw. nur vereinzelt potentielle Schichtflächen festgestellt (Bericht Terratec /9/).



**Abbildung 4: Summenkurve potentieller Schichtflächen über der Bohrteufe**

Für die Klüftung ist eine Abgrenzung der Klüftscharen voneinander durch die zur Teufe abnehmende Anzahl von Klüften und die große Streuung der Einzelwerte mit großen Unsicherheiten behaftet. Z.T. sind die ABF-Signale sehr schlecht, z.T. trägt auch der größere Anteil an weichen tonigen Schluffsteinen zur geringen Anzahl von Klüften innerhalb des Oberen Buntsandsteins bei.

Eine Abgrenzung der dokumentierten Klüfte in Bezug auf die Lagerungsverhältnisse enthält Tabelle 2. Die Anzahl der dokumentierten Klufflächen in den einzelnen Abschnitten ist i.allg. geringer als die der Schichtflächen.

Im Salinar zeigen sich nur wenige Klufflächen. Diese sind ausschließlich auf die Anhydrit-Bänke beschränkt. Das Steinsalz selbst weist in dem untersuchten Teufenabschnitt nachweislich keine Klüfte auf.

In den Abschnitten 1 bis 5 im Unteren Muschelkalk und in den Abschnitten 8 bis 10 und 12 im Oberen Buntsandstein können zwei Klüftscharen unterschieden werden, in den übrigen Abschnitten ist dies anhand der Aufzeichnungen nicht möglich (Tabelle 2, Spalte 2 und Anhang 2).

Offene Klüfte mit z.T. großen Öffnungsweiten wurden von der Fa. Terratec im Teufenabschnitt 37 m bis 130,4 m analysiert (Tabelle 3).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 22 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	

**Tabelle 3: Öffnungsweiten von Klüften in der Bohrung Remlingen 15**

Tiefe m	Azimut deg	Dip deg	Öffnungs- weite mm	Typ
48,37	219	62	46,76	Kluft
49,66	79	12	118,45	Kluft
50,46	17	75	30,83	Kluft
79,28	127	75	28,19	Kluft
80,20	117	80	19,09	Kluft

Somit kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Teufenabschnitt mit einer hohen Gebirgsauflockerung zu rechnen ist. In den übrigen Bohrabschnitten wurden keine Öffnungsweiten bestimmt.

Insbesondere geologische Störungen erhöhen i.allg. die Gebirgsentfestigung und verringern die Standfestigkeit des Gebirges. Hierbei besteht ein direkter Einfluss auf die Teuftechnologie, die freie Standhöhe, das Überprofil beim Schachtteufen sowie Erschwernisse in der Erstsicherung des Schachtstoßes. In der Bohrung Remlingen 15 sind innerhalb des Unteren Muschelkalks 7 Störungen angegeben Tabelle 4 von denen 2 Störungen als vermutet gekennzeichnet sind. Bei 2 weiteren Störungen kann die Liegendgrenze nicht eingegrenzt werden. Im Oberen Buntsandstein sind ebenfalls Störungen zu vermuten. Diese lassen sich nach der Stratigraphie und Lithologie jedoch nicht nachweisen (z.B. im Abschnitt 258 mT bis 265 mT). Für eine Abschätzung der Störungsabschnitte im geplanten Schacht Asse 5 mit einem angenommenen Schachtradius von  $R = 5,0$  m wurden die Kernlängen und Einfallwinkel in der Bohrung Remlingen 15 teilweise abgeschätzt (die Störungsweite i. allg. nach Kernverlust, das Einfallen nach dem meist steilen Schichteinfallen). Nach der Prognose beträgt der längste, von einer Störung angeschnittene Teufabschnitt etwa 57 m.

Der durch diese tektonischen Störungen beeinflusste Schachtabschnitt wirkt sich nicht nur in dem von der Bohrung/ vom Schacht angeschnittenen Teufabschnitt aus, sondern in Abhängigkeit vom Einfallen, der Breite und der Gesteinszerstörung durch tektonische Beanspruchung z.T. noch in großen Abständen oberhalb und unterhalb der Durchtrittsstellen. Dies ist im Rahmen der Ausbauplanung entsprechend zu berücksichtigen.

Es ist wahrscheinlich, dass auch die Anhydritbänke im Salinar (Tabelle 4) aufgrund unterschiedlicher Festigkeits- und Verformungseigenschaften im Vergleich zum Steinsalz Auswirkungen auf den Schachtstoß haben (z.B. durch Nachbruch). Die von den Anhydriten angeschnittenen Schachtabschnitte betragen nach der Prognose bis zu ca. 48 m.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 23 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

**Tabelle 4: Störungen im Deckgebirge und Anhydritbänke im Salinar der Bohrung Remlingen 15 (Singularitäten) und Prognose der Abschnittslängen im geplanten Schacht (aus /5/)**

Außenradius Schacht										5,0	
stratigraph.	Teufenbereich		Kernlänge geschätzt [ m ]	Störung		Anhydrit- bank	Einfall- richtung [ Grad ]	Einfallwinkel		Schacht- abschnitt R(A) = 5,0 m <b>Prognose !</b> [ m ]	Bemerkungen
	von ... [ m ]	bis ... [ m ]		nachgewiesen	vermutet			vorhanden [ Grad ]	geschätzt [ Grad ]		
Unterer Muschelkalk	27	28	1,0	X			k.A		70	28,5	von 26 - 29,25m Kern?
	47	49	0,4	X			SSW	20 ?		4,0	von 48,7 - 49,1m Kern?
	52	53	0,8	X			SSE	50		12,7	von 52,0 - 52,8m KV
	80 (?)	?	0,2		X		SE	75 - 80		56,9	
	86	?	0,7	X			ESE		65	22,1	
	95 (?)	?	?		X		SSW		40	---	
130,40	?	0,2	X			NW		40	8,6		
Oberer Buntsandstein	----										durch Untersuchungen nicht belegbar!
"Hutgestein"	----										
Zechstein	450,0	450,8	0,75			dolom. Karbonat			78	47,8	
	532,5	534,4	1,90			X		75		39,2	
	566,7	570,0	3,35			X			75	40,7	
	585,5	587,5	2,00			X			75	39,3	
	628,7	631,4	2,65			X		60		20,0	
	700,1	704,0	3,90			X			68	28,7	
	734,1	738,3	4,20			X		57,5		19,9	
	880,8	881,1	0,30			X			60	17,6	
	888,5	892,8	4,30						60	21,6	
47 - 49:	<b>Eisenoxid / Eisenhydroxid im Abschnitt 48,7 bis 49,1m</b>										
52 -53 m:	<b>49,8 - 52,0 m: plastisch, stark kalkhaltig (Hohlraumfüllung?)</b>										
130,4 m:	<b>KV bei 129,6-129,8m</b>										

### Nachbruch

Die geringe Standfestigkeit der Bohrlochwand zeigt sich an der Häufigkeit und Tiefe der Nachbrüche (Bohrlocherweiterung bezogen auf den Soll-Durchmesser). Die Bohrlocherweiterung N-S und W-E wurde von der Fa. Terratec mit Hilfe einer Vierarmkalibermessung aufgenommen. In der Abbildung 5 dargestellt ist jeweils die größere Nachbruchtiefe der beiden gemessenen Richtungen für das Deckgebirge.

Im Abschnitt 0 bis 130 m verringert sich die Nachbruchtiefe von 15 bis 20 % des Bohrlochdurchmessers im oberen Bereich auf ca. 5 % im unteren Bereich. In Oberflächennähe wurden Nachbruchtiefen bis etwa 50 % des Bohrlochdurchmessers gemessen. Als Ursache kann neben der Häufung von potentiellen Schicht- und Kluffflächen in steiler Lagerung von einer größeren Verwitterung des Gebirges ausgegangen werden. Darüber hinaus können 3 weitere Bereiche im Deckgebirge angegeben werden, in denen deutlich größere Nachbrüche aufgetreten sind:

Im Abschnitt von ca. 135 bis 145 m werden die größeren Nachbrüche (bis max. 169 % des Bohrlochdurchmessers) vermutlich von einer Störung verursacht.

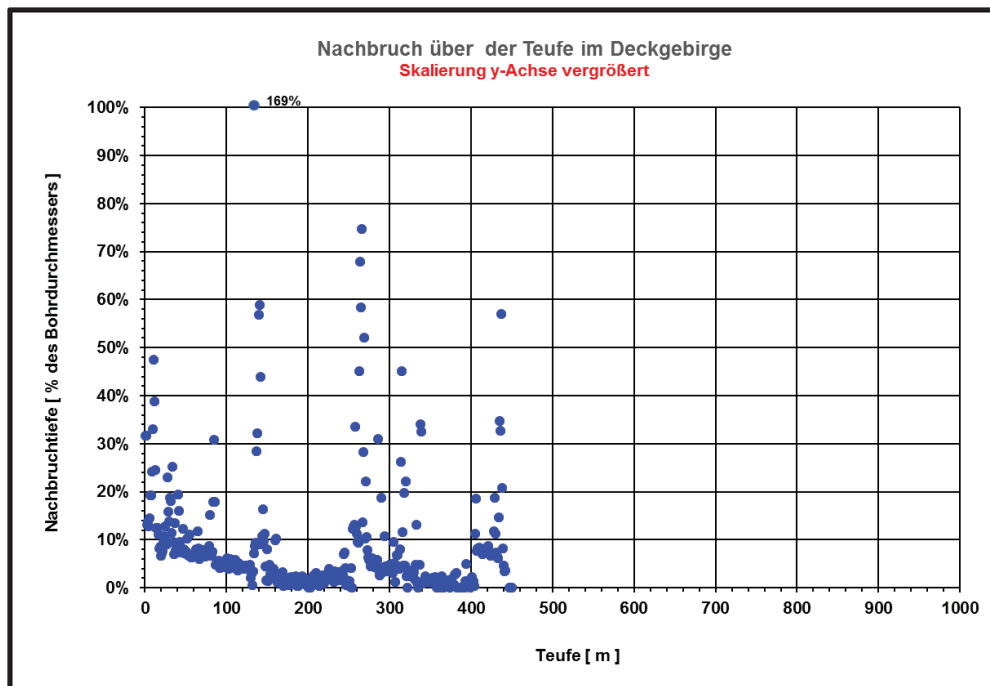
## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 24 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Im Abschnitt von ca. 258 bis 340 m können die Nachbrüche im Wesentlichen auf die geringen Gesteinsfestigkeiten der tonigen Schluffe zurückgeführt werden. Ein zusätzlicher Einfluss einer möglichen Störung (z.B. im Bereich des Kernverlustes zwischen 261 bis 265 mT) kann hier nicht ausgeschlossen werden. (vgl. Abbildung 7)

Größere Nachbrüche im „Hutgestein“ zwischen ca. 435 und 438 m können einer schluffig-tonigen Brekzie zugeordnet werden.



**Abbildung 5: Nachbruchtiefe der Bohrlochwand über der Teufe im Deckgebirge**

Diese am Schachtstandort aufgeschlossenen, anspruchsvollen Lagerungsverhältnisse, d.h. die hohe Trennflächendichte bis ca. 130 m Teufe, das vorherrschend steile Einfallen der Schichtenfolge sowie die Störungen, führen mit Zunahme des Schachtdurchmessers, beim Teufen mit Sprengerschütterungen und ohne frühzeitige und gezielte Sicherungsmaßnahmen im allgemeinen zu größeren Nachbrüchen und/ oder Verformungen innerhalb des Gebirgstragringes. Bei Anwendung des konventionellen Schachtteufens im Bohr- und Sprengverfahren sind Störungszonen hinsichtlich Herstellung und Standzeit der Sprengbohrlöcher, Verteilung und Absorption der Detonationsenergie und der Vollständigkeit der Abschlüge, sowie Abschlüglängen in nachfolgenden Planungen besonders zu bewerten.

#### Elastizitätsmodul und Verformungsmodul des Gebirges

Der Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert (Werkstoff, Gestein, Gebirge), der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt. Der Verformungsmodul ist ebenfalls ein Materialkennwert, der in der Geotechnik den Widerstand des Gesteins/ Gebirges gegen Verformungen angibt. Aus der Rückverformung des Gesteins kann der Elastizitätsmodul aus Dilatometerversuchen im Bohrloch hergeleitet werden.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 25 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Mit der Durchführung der Dilatometermessungen in der Bohrung Remlingen 15 wurde die Fa. Sol-experts beauftragt. Die Messungen erfolgten nach den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (Pahl 1984) /25/ sowie der Arbeitsgruppe 24 vom A.F.T.E.S (1993) /24/. Die Dilatometersonde besitzt drei Wegaufnehmer, die horizontal um 120° und vertikal um 75 mm zueinander versetzt sind. Mit dieser Sonde wurde der statische E-Modul und Verformungsmodul des Felsverbandes in situ untersucht.

In der folgenden Abbildung 6 sind die aus Dilatometer-Messungen berechneten statischen Elastizitätsmoduli und Verformungsmoduli über der Bohrteufe dargestellt.

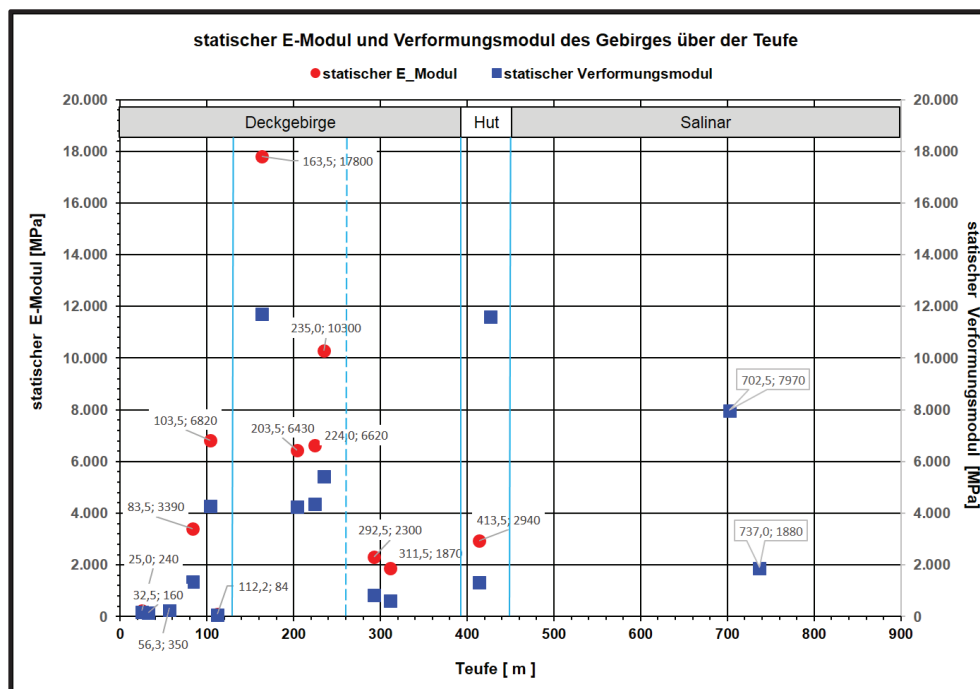


Abbildung 6: Ergebnisse der Dilatometermessungen

Die Wechsellagerung der Kalksteine und Mergelsteine des Unteren Muschelkalkes zwischen 0 m und ca. 131 m mit einer großen Anzahl an potentiellen Schicht- und Klufflächen (siehe Tabelle 2) sowie mehrere vermutete Störungszonen (siehe Tabelle 4) ergaben E-Moduli zwischen 160 und 6820 MPa und Verformungsmoduli zwischen 180 und 4270 MPa. Nach der Klasseneinteilung der Arbeitsgruppe von A.T.F.E.S (siehe Tabelle 5) ist das Gebirge in diesem Abschnitt den Verformungsklassen DM5 (sehr stark verformbar) bis DM3 (mäßig verformbar) zuzuordnen.

Tabelle 5: Verformungsklassen nach A.F.T.E.S Klassifizierung /24/

Klasse	Verformungsmodul [MPa]	Beschreibung
DM1	> 30.000	Sehr gering verformbar
DM2	30.000 – 10.000	Gering verformbar
DM3	10.000 – 3.000	Mäßig verformbar
DM4	3.000 – 1.000	Stark verformbar
DM5	< 1.000	Sehr stark verformbar

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 26 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Im Abschnitt zwischen 131 mT und ca. 260 mT stehen vorwiegend durch Feinsandstein-Lagen und -linsen gebänderte Schluffsteine und tonige Schluffsteine an. Die E-Moduli (vier Messwerte) streuen zwischen  $E = 6430$  MPa und  $E = 17800$  MPa, die Verformungsmoduli zwischen  $V = 4240$  MPa und  $V = 11700$  MPa. Der höchste Wert innerhalb dieses Bereiches und zugleich der höchste Wert aller Messungen in der Bohrung Remlingen 15 wurde für die Teufe 163,5 m mit  $E = 17800$  MPa und  $V = 11700$  MPa ermittelt. Dieser Messhorizont liegt nach den Kernaufnahmen im Bereich einer vorwiegend aus Sandstein bestehenden Gebirgsschicht. Das Gebirge dieses Teufenabschnittes ist der Verformungsklasse DM2 zugeordnet.

Im Abschnitt zwischen ca. 260 mT und 395 mT wurden zwei Dilatometermessungen durchgeführt. Die Schichtenfolge besteht vorwiegend aus Schluffstein und tonigem Schluffstein mit einzelnen Feinsandstein-Lagen und -linsen sowie Gips/ Anhydrit. Die E-Moduli liegen zwischen  $E = 1870$  und  $2300$  MPa, die Verformungsmoduli zwischen  $V = 610$  und  $830$  MPa. Das Gebirge ist der Verformungsklasse DM5 zugeordnet.

Durch Subrosion und Auslaugungsprozesse mit entsprechender Gipsumwandlung ist das Gebirge im „Hutgestein“ (ca. 395 m – 443 m) sehr inhomogen, verbunden mit großen Steifigkeitswechseln. Es wurde ein E-Modul mit  $E = 2940$  MPa und zwei Verformungsmoduli mit  $V = 1320$  MPa und  $V = 11600$  MPa ermittelt. Aufgrund einer stark unregelmäßigen Bohrlochwand sind diese Werte nicht belastbar. Entsprechendes gilt für zwei Messungen im Bereich von zwei Anhydritbänken des Salinars. Es wurden keine E-Moduli ermittelt. Die Verformungsmoduli betragen  $V = 1880$  MPa und  $V = 7970$  MPa (nicht belastbar /18/).

Ein Vergleich der Ergebnisse dieser Dilatometermessungen mit den geophysikalischen Ergebnissen des dynamischen E-Moduls erfolgt im Kapitel 3.2.2.

### Zugfestigkeit in situ

Die Zugfestigkeit wurde im Rahmen der Untersuchungen über die Gebirgsspannungen am geplanten Standort des Schachtes ermittelt (Tabelle 6).

Aufgrund der ausgeprägten Klüftung der Schichtenfolge des Unteren Muschelkalks wurden während der Spannungstests (Test 1 bis 3) keine neuen Risse erzeugt, so dass für diese Formation keine gebirgsrelevanten Zugfestigkeitswerte angegeben werden können. Für den Oberen Buntsandstein (Röt 4 und Röt 3) wurden Zugfestigkeiten zwischen 2,4 und 1,5 MPa gemessen mit einer Tendenz zu geringeren Werten von Röt 4 zum Röt 3.

Die Sulfate mit Zwischenlagen aus Schluffstein im „Hutgestein“ weisen deutlich höhere Zugfestigkeiten von 4,5 bis 10,8 MPa auf.

Im Salinar wurden Zugfestigkeiten zwischen 4,6 und 6,9 MPa gemessen. Auffällig ist die größere Bandbreite der Zugfestigkeit in der Anhydritbank (Test 11) im Vergleich zu den Tests im Steinsalz Tests 12 bis 15). Möglicherweise handelt es sich hierbei um vorhandene Mikrorisse im Anhydrit.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 27 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

**Tabelle 6: In situ gemessene Zugfestigkeiten nach hydraulischen Spannungsuntersuchungen**

Bohrabschnitt	Stratigraphie	Test Nr.	Teufe T [ m ]	Zugfestigkeit βz [ MPa ]
I	Unterer Muschelkalk	3	60	--
		2	117,3	--
		1	128,5	--
II	Oberer Buntsandstein	7	179,4	2,4
		6	191,95	2,1 - 2,15
		5	209,05	2,1
		4	232,4	1,5
III				
IV	Hutgestein	9	413,5	8,7 - 10,8
		8	424	4,5
V	Zechstein	15	499	5,7 - 6,0
		14	545	5,2 - 5,6
		12	646,5	6,5 - 6,6
		11	735	4,6 - 6,9
		10	888,8	--

### 3.2 Einteilung der Ergebnisse wichtiger Gesteinsparameter in Homogenbereiche (nach Laboruntersuchungen)

#### 3.2.1 Gesteinsparameter auf Basis der Laboruntersuchungen

Die gesteinsphysikalischen Untersuchungen wurden im Wesentlichen vom IfG – Institut für Gebirgsmechanik GmbH Leipzig durchgeführt und sind in /12/ dokumentiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 7 zusammengefasst. In der Vorplanung waren 10 Lithotypen unterschieden worden, von denen nur die in der Tabelle angegebenen Gesteine aufgeschlossen wurden. Bei den Ergebnissen der aufgeführten Materialeigenschaften ist zu berücksichtigen, dass vor allem das Deckgebirge sehr inhomogen aus Kalksteinen, Kalkmergelsteinen, Sulfatgesteinen, Schluffsteinen mit unterschiedlichen Tonanteilen und Sandsteinschichten aufgebaut ist und eine deutliche Anisotropie aufweist.

Die in der Tabelle 7 angegebene Ober- und Untergrenze der untersuchten Gesteinsparameter geben, soweit vorhanden, einen Überblick über die anzunehmende Mindeststreuung dieser gesteinsphysikalischen Parameter.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 28 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

**Tabelle 7: Zusammenfassung der Laborergebnisse /12/**

Lithotyp	Teufenbereich		Lithologie	Wasser- gehalt w	Dichte $\gamma$	Kohäsion		Reibungswinkel		Einaxiale Druckfestigkeit aus Triax-Versuchen		Einaxiale Druckfestigkeit	
	von	bis				C(min)	C(max)	$\phi$ (min)	$\phi$ (max)	$\sigma^1$ (min)	$\sigma^1$ (max)	$\sigma^1$ (min)	$\sigma^1$ (max)
Nr.	[m]	[m]		[Gew. %]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[°]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
3	40	80	Schaumkalk (mu)	0,5 - 1,9	ca. 2,55	2,9	7,4	47,4	52,0	11,3	32,1	4,7	49,6
4	0 - 40	80 - 130	mergelige Kalksteine (mu)	0,9 - 2,4	2,5 - 2,7	1,4	7,7	41,6	52,9	4,8	34,2	15,5	44,0
5	149	293	kompakter Tonsteine (so)	2,2 - 12,6	2,43 - 2,71	5,3	---	20,0	---	13,1	---	2,8	15,0
			plastischer Tonstein (so)	---	---	0,3	---	3,0	---	0,6	---	---	---
6a	394	395	Anhydrit und Tonstein (so)	7,6 - 12,6	2,26 - 2,36	---	---	---	---	---	---	0,2	1,3
7 / 8	402		Gips und Anhydrit /	2,6 - 16,4	2,25 - 2,38	4	---	28,0	---	11,0	---	6,5	8,7
		442	Tonstein (Hutgestein)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9	628	887	Steinsalz (z)	---	2,17	---	---	---	---	---	---	---	30,0
			Anhydritisches Steinsalz	---	2,28 - 2,64	---	---	---	---	---	---	---	45,0

Lithotyp	Teufenbereich		Lithologie	statistischer E-Modul		Zugfestigkeit		Scherfestigkeit an Trennflächen		Scherparameter			
	von	bis		stat-E-Modul (min)	stat-E-Modul (max)	$\leftrightarrow$ Schichtung	$\updownarrow$ Schichtung	$\tau$ (min)	$\tau$ (max)	C	$\phi$	$\sigma_n$ (min)	$\sigma_n$ (max)
Nr.	[m]	[m]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
3	40	80	Schaumkalk (mu)	700	32600	2,1	3,1	0,4	2,5	0,0	14	1,5	10,0
4	0 - 40	80 - 130	mergelige Kalksteine (mu)	8500	18400	1,1 ± 0,9	1,7 ± 0,3	0,2	1,5	0,0	14	1,0	6,0
5	149	293	kompakter Tonsteine (so)	---	---	1,3	2,8	0,7	2,6	0,4	29	0,5	4,0
			plastischer Tonstein (so)	---	---	0,1	---	---	---	---	---	---	---
6a	394	395	Anhydrit und Tonstein (so)	---	---	0,1	---	0,9	2,0	0,8	14	0,5	5,0
7 / 8	402		Gips und Anhydrit /	5000	9200	1,1 ± 1,0	---	1,2	3,6	0,4	39	1,0	4,0
		442	Tonstein (Hutgestein)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9	628	887	Steinsalz (z)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
			Anhydritisches Steinsalz	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

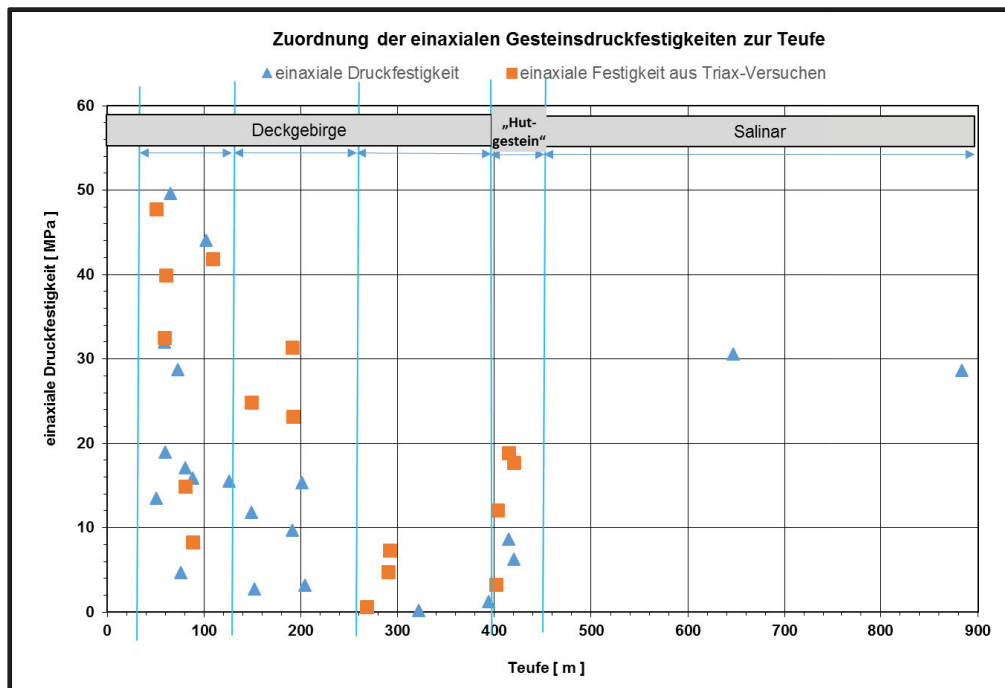
### Gesteinsfestigkeit

Die einaxialen Druckfestigkeiten der Kalksteine und Kalkmergelsteine des Unteren Muschelkalks liegen mit 5 bis 49 MPa gegenüber den vorwiegend aus Schluffsteinen und tonigen Schluffsteinen bestehenden Gesteinen des Oberen Buntsandsteins mit < 3 MPa bis 15 MPa überwiegend darüber.

Das folgende Diagramm in Abbildung 7 zeigt die Verteilung der einaxialen Druckfestigkeiten von den untersuchten Gesteinsproben in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe sowohl für die direkten einaxialen Untersuchungen (dargestellt als Dreieck in Abbildung 7) als auch für die aus den Triaxialversuchen bestimmten einaxialen Festigkeiten (dargestellt als Quadrat in Abbildung 7).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 29 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018



**Abbildung 7: Zuordnung der einaxialen Druckfestigkeiten aus einaxialen (Dreieck) und triaxialen (Quadrat) Labortests zur Teufe**

Im Abschnitt 0 bis 131 m (Unterer Muschelkalk) wurden Festigkeiten bis ca. 50 MPa ermittelt. Die Streuung der Einzelwerte ist jedoch erheblich.

Im Abschnitt 131 m bis 260 m (Oberer Buntsandstein) wurden Festigkeiten bis rd. 32 MPa bestimmt. Die Streuung ist ebenfalls groß.

Im Abschnitt 260 m bis 395 m wurden Festigkeiten zwischen  $< 1$  MPa und  $< 8$  MPa ermittelt. Dieser Abschnitt weist die geringsten, nachgewiesenen Festigkeiten der Bohrung Remlingen 15 auf.

Im „Hutgestein“ treten wieder höhere Festigkeiten auf (bis  $< 20$  MPa), jedoch bei großer Streuung der Einzelwerte.

Untersuchungen der Scherfestigkeit (Tabelle 7) an vorhandenen Schichtflächen der Gesteinsproben, von Kalksteinen, mergeligen Kalksteinen, tonigen Schluffsteinen sowie an Gips-Anhydrit-Tonsteinen des „Hutgesteins“ zeigen keine relevanten Unterschiede.

Besondere Beachtung sollte den plastischen Tonen innerhalb des Deckgebirges geschenkt werden (z.B. Tone im Röt 1 bei ca. 395 m), deren Parameter wie beispielsweise die Kohäsion mit  $c = 0,3$  MPa, der Reibungswinkel mit  $\phi = 3^\circ$  und die einaxiale Druckfestigkeit mit  $\sigma_c < 1$  MPa sehr gering sind.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 30 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	

Im Salinar weist das reine Steinsalz Dichten um 2,17 g/cm<sup>3</sup> auf und einaxiale Druckfestigkeiten um 30 MPa (Tabelle 7). Ein Großteil der aufgeschlossenen Schichtenfolge im Salinar besteht aus anhydritischem Steinsalz, verbunden mit einer vom Anhydritgehalt abhängigen höheren Dichte (2,28 – 2,64 g/cm<sup>3</sup>) und einer höheren Druckfestigkeit von ca. 45 MPa. Vom IfG wird auf die geringe Kriechfreudigkeit und höhere Festigkeit des untersuchten Steinsalzes im Vergleich zum Staßfurt-Steinsalz z2HS hingewiesen /12/.

#### Gesteinsdichte und Wassergehalt von ausgewählten Gesteinstypen (Lithotypen)

Die Gesteinsdichte und der Wassergehalt der Gesteine (Lithotypen) wurden an ausgewählten Kernproben von der Fa. IfG Leipzig untersucht. Die Ergebnisse sind als Einzelwerte und als Mittelwerte für jeden untersuchten Lithotyp des Deckgebirges in der Tabelle 8 angegeben. Es zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Gesteinsdichte und dem Wassergehalt des Probenmaterials. Die Gesteinsdichten nehmen im Mittel mit der Teufe ab und der Wassergehalt nimmt im Mittel von rd. 1,6 % auf über 14 % im „Hutgestein“ zu. Neben gesteinspezifischen Unterschieden könnten ggf. auch tektonische Prozesse hieran beteiligt sind.

**Tabelle 8: Gesteinsdichten / Wassergehalte im Deckgebirge nach Laboruntersuchungen /12/**

Bohrteufe [ m ]	Gesteinsart [ --- ]	Lithotyp [ --- ]	Dichte [ g/ cm <sup>3</sup> ]	Wasser [ % ]	mittl. Dichte [ g/ cm <sup>3</sup> ]	mittl. Wasser [ % ]
51 - 51,70	Karstfüllung	3	2,408	---		
88,0 - 89,0	Wellenkalk	4	2,592	1,240	2,600	1,593
102,35 - 102,75	Wellenkalk	4	2,607	1,160		
126,6 - 127,0	Wellenkalk	4	2,602	2,380		
149,00 - 149,92	Tonstein	5	2,712	5,210	2,535	4,626
152,03 - 152,49	Tonstein	5	2,565	3,970		
191 - 191,75	Tonstein	5	2,441	7,180		
191,75 - 192	Tonstein	5	2,453	2,240		
201,53 - 201,75	Tonstein	5	2,587	4,530		
204,0 - 204,5	Tonstein	5	2,450	---		
268,20 - 268,78	Tonstein	5	2,425	12,590	2,387	9,898
290,4 - 290,81	Tonstein	5	2,449	8,590		
292,10 - 292,40	Tonstein	5	2,434	8,130		
322,66 - 323,00	Tonstein	6a	2,263	7,600		
394,00 - 394,50	Tonstein	6a	2,364	12,580		
402,10 - 402,50	Tonstein/ Gips-Anhydrit	7/ 8	2,319	15,100		
415,0 - 416,0	Tonstein/ Gips-Anhydrit	7/ 8	2,383	15,810	2,341	14,440
420,0 - 421,0	Tonstein/ Gips-Anhydrit	7/ 8	2,321	12,410		

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 31 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Tonfraktion am Gesamtgestein und dessen physikalische Eigenschaften

Die Untersuchungen der mineralogischen Zusammensetzung von ausgewählten Kernproben der Bohrung Remlingen 15 (Abbildung 8, insgesamt aus 54 Teufenbereichen), die Bestimmung der Tonfraktion am Gesamtgestein und der Tonminerale sowie der physikalischen Eigenschaften der Tonsteine im Teufenbereich von 157 mT bis 450 mT wurden von der Fa. IBewWa/ Freiberg 87/13//14/ durchgeführt.

Lithologisch lassen sich die untersuchten Sedimentgesteine in 3 Gruppen einteilen:

- Wechsellagerung von Ton-, Schluff- und Feinsandstein mit dolomitisch-anhydritischem Bindemittel, teilweise auch mit Sulfateinlagerungen (58 mT – 394 mT).
- Gips- Anhydrit-Stein, untergeordnet mit Tonstein (400-431 mT).
- Schluffige, teilweise plastische Tonsteine (436 mT bis 439 mT)

Die Abbildung 9 zeigt eine Übersicht über die Tonfraktion und den Anteil an Tonmineralen am Gesamtgestein über der Teufe. Darüber hinaus wurde der Anteil des Tonminerals Montmorillonit (quellfähig) in der Tonfraktion und am Gesamtgestein gesondert über der Teufe dargestellt. Die Tonfraktion nimmt von ca. 3 bis 15 % oberhalb von ca. 260 m Teufe, unterhalb dieser Teufe auf bis zu 34 % deutlich zu. Eine Ausnahme stellt der obere Abschnitt des „Hutgesteins“ (Röt1) dar. Dort beträgt die Tonfraktion etwa 3 bis 6 %. Dieser Abschnitt wird überwiegend aus Gips und Anhydrit aufgebaut.

Die Summe der Tonminerale an der Tonfraktion ist in den Deckgebirgsschichten mit 10 bis 20 % relativ konstant. Eine deutliche Zunahme der Tonminerale wurde in den Teufen bei ca. 170 m (ca. 32 %, Abbildung 8, Diagrammspalte 4) und ca. 440 m (ca. 29 %, Abbildung 8, Diagrammspalte 4) bestimmt.

Der Anteil an Montmorillonit am Gesamtgestein fehlt oberhalb des „Hutgesteins“ oder ist sehr gering. Im „Hutgestein“ ist Montmorillonit mit bis zu ca. 10 % deutlich erhöht. In diesem Abschnitt wurde von der Fa. IBewWa auch die höchste Wasserempfindlichkeit hinsichtlich Quellen nachgewiesen (max. ca. 0,8- Ma%, Abbildung 10, Diagrammspalte 1). Der Mittelwert der Wasserempfindlichkeit in den Siliziklastiten des „Hutgesteins“ beträgt ca. 0,6 –Ma%. Im übrigen Deckgebirge ist die Wasserempfindlichkeit mit Werten zwischen 0 und 0,4 –Ma% geringer (vgl. Abbildung 10).

Am Probenmaterial mit den höchsten Wasserempfindlichkeiten und Montmorillonit-Gehalten wurden 2 Quellversuche durchgeführt /14/. Danach beträgt der axiale Quelldruck an Probe P237-4/61 2,79 bis 2,90 MPa (Mittel 2,85 MPa) und an Probe P237-4/62 1,79 bis 1,87 MPa (Mittel 1,83 MPa).



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 32 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

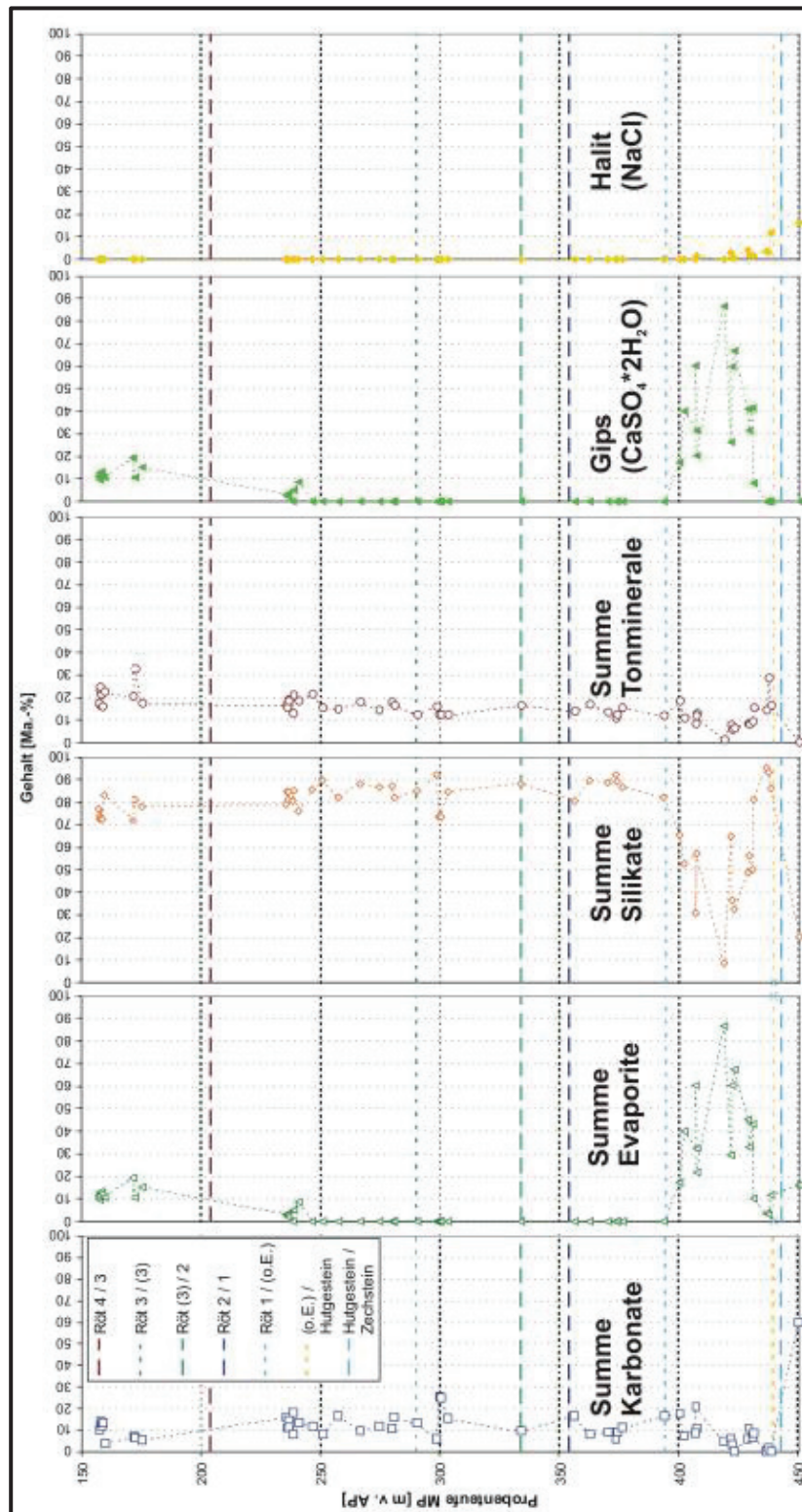


Abbildung 8: Verteilung ausgesuchter Mineralphasen im Gesamtgestein (Pulverpräparat) vs. Probentiefe (unkorrigiert) /13/



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 33 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

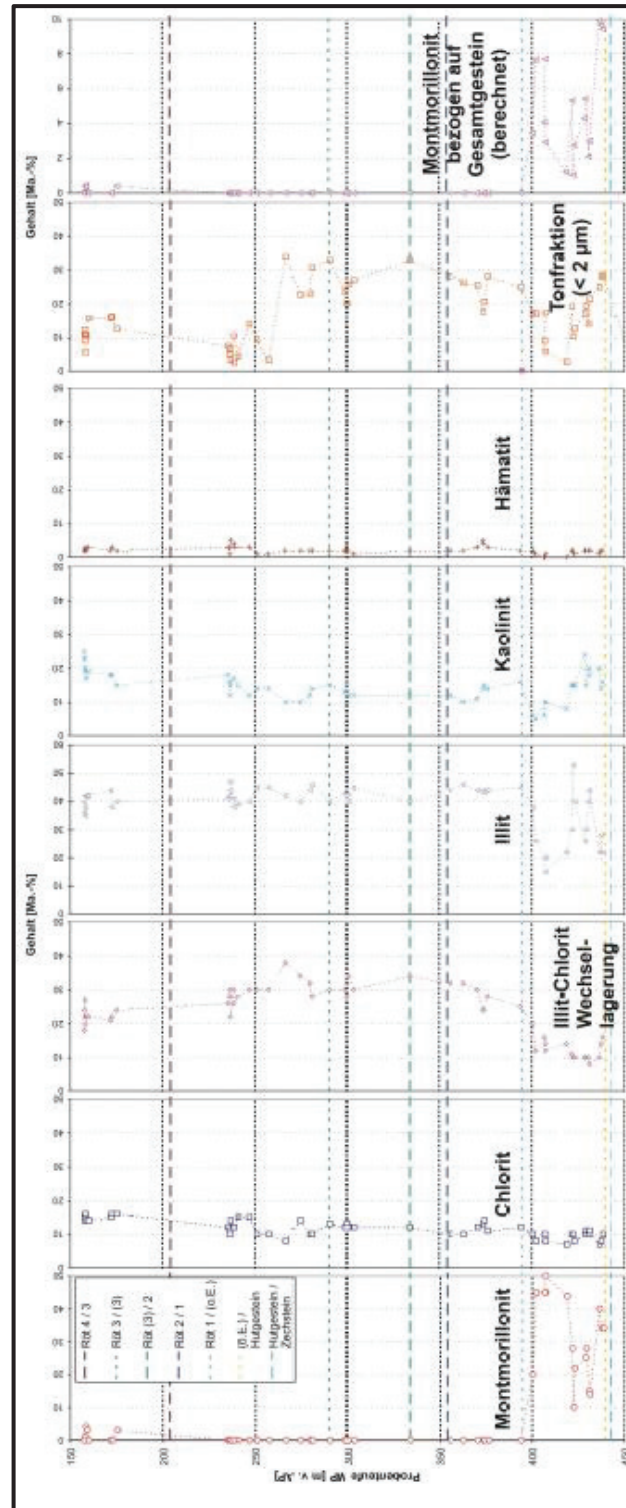
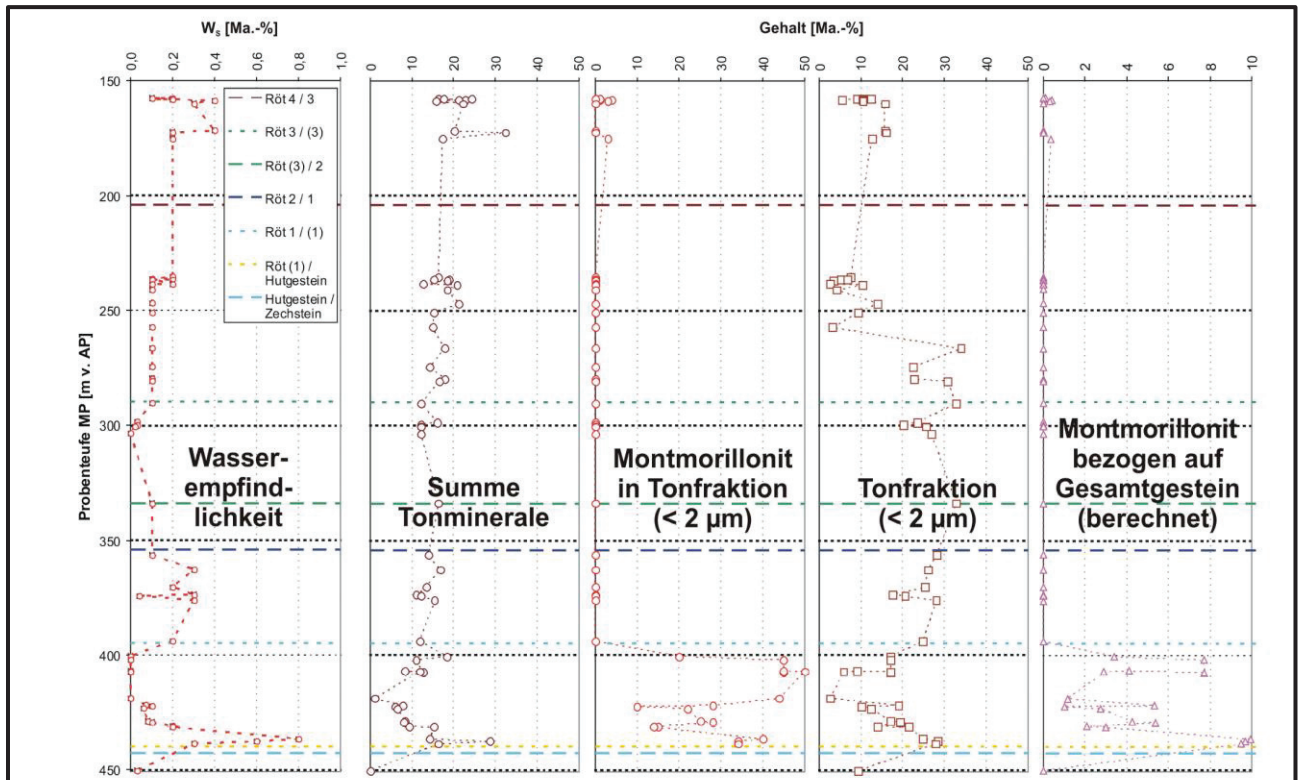


Abbildung 9: Verteilung ausgesuchter Mineralphasen in der Tonfraktion (Texturpräparat), Gehalt der Tonfraktion am Gesamtgestein und auf das Gesamtgestein berechneter Montmorillonitgehalt vs. Probentiefe (unkorrigiert) /13/

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 34 von 94
NAAN	NNNNNNNN	<del>AAA</del>	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018



**Abbildung 10: Verteilung der Wasserempfindlichkeit (hinsichtlich Quellen) vs. Probentiefe (unkorrigiert) und Vergleich mit den mineralogischen Daten /13/**

Für den Schacht Asse 5 ergeben sich aus den Untersuchungen von IBeWa /13/, /14/ folgende Anforderungen:

- Im Deckgebirge oberhalb des „Hutgesteins“ sind aufgrund der geringen Wasserempfindlichkeit der untersuchten Gesteinsproben keine zusätzlichen Anforderungen an den Schachtausbau zu erwarten. Dies gilt sowohl für die Tongesteine als auch für die sulfatisch und karbonatisch geprägten Gesteine.
- Im Bereich des „Hutgesteins“, insbesondere im Bereich erhöhter Montmorillonit-Gehalte zwischen ca. 430 m und dem Salzspiegel sind Maßnahmen zur Verhinderung von Quelldrücken erforderlich.
- Bei den Sulfaten des „Hutgesteins“ hingegen resultieren erhöhte Montmorillonit-Gehalte nicht in einer Erhöhung der Wasserempfindlichkeit, so dass hier von einem nicht oder vernachlässigbaren Quellen der Sulfatgesteine ausgegangen werden kann (mögliche Ursachen: hoher Gipsanteil bzw. Aufnahme des Wassers durch den Montmorillonit).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 35 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### 3.2.2 Gesteinsparameter auf Basis der geophysikalischen Bohrlochuntersuchungen)

Bzgl. der geophysikalischen Gesteinsuntersuchungen wird zwischen direkter und indirekter Bestimmung von Gesteinseigenschaften unterschieden. Zu den direkten Messungen nach Kalibrierung der Messsonden gehören u.a.

- Die Gesteinsdichte mit Hilfe der  $\gamma$ -Sonde
- Die Porosität mit Hilfe der Neutron-Neutron-Sonde

Zu den indirekten Messungen zählen

- Die dynamischen Gesteinsmoduli Elastizitätsmodul, Schermodul und Kompressionsmodul
- Die Poissonzahl als Verhältnis der Querdehnung zur Längsdehnung bei Volumenkonstanz

Sie werden mit Hilfe des Sonic- bzw. Akustic-Logs aus den Laufzeiten der Schallwellen  $t_p$  und  $t_s$ , z.T. zusätzlich mit der Gesteinsdichte berechnet [s. Bericht Terratec].

Nachfolgend werden die Unterschiede der wesentlichen Gesteinsparameter entlang der Untersuchungsbohrung Remlingen 15 dargestellt und interpretiert.

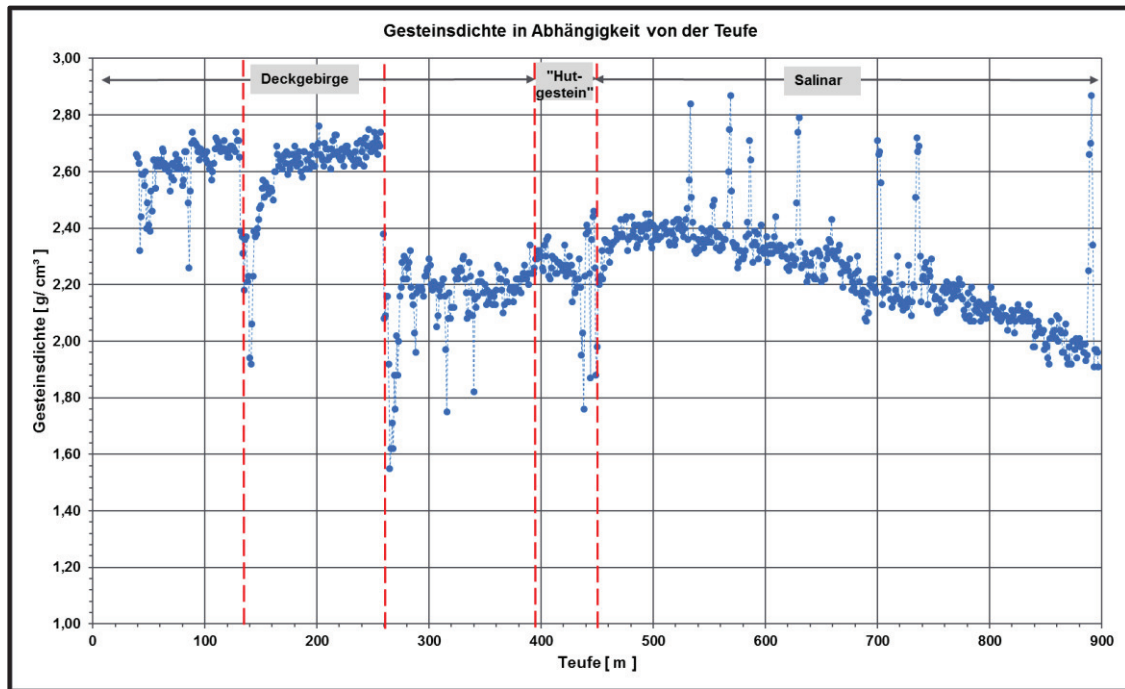
#### Gesteinsdichte

Die Gesteinsdichten (angegeben als Mittelwerte je Teufmeter) liegen im Deckgebirge etwa zwischen  $\rho = 2,2$  und  $\rho = 2,7$  g/cm<sup>3</sup>, im Salinar etwa zwischen  $\rho = 1,9$  und  $\rho = 2,9$  g/cm<sup>3</sup>. Charakteristische Änderungen der Gesteinsdichte im Deckgebirge treten im Bereich von 131 m und ca. 160 m und zwischen etwa 257 m und ca. 270 m auf. In beiden Abschnitten nimmt die Dichte sprunghaft ab. Da in diesen Teufen deutlich erhöhte Nachbrüche auftraten (Abbildung 5) handelt es sich vermutlich um stärker entfestigte Gebirgsabschnitte, möglicherweise um Störungsabschnitte. Eindeutige Beweise hat keine der zahlreichen Untersuchungen am Kernmaterial und anhand der geophysikalischen Bohrlochmessungen geliefert /5/.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 36 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018



**Abbildung 11: Mittlere Gesteinsdichten je Teufmeter**

Der Abschnitt zwischen 131 m und ca. 395 m weist nach den Kernaufnahmen und der Einteilung in Gesteinstypen keine wesentlichen Unterschiede auf mit Ausnahme eines etwas höheren Sandsteinanteils im oberen Abschnitt. Die Gammastrahlung, und damit der Anteil an Schluff- und tonigem Schluffstein am Gestein zeigt keine wesentlichen Unterschiede (siehe Abbildung 1). Dennoch ist die Gesteinsdichte im Teilabschnitt von etwa 160 m bis 257 m im Vergleich zum Abschnitt 270 m bis ca. 395 m um  $\Delta\rho \approx 0,5 \text{ g/cm}^3$  höher. Ergebnisse von Laborversuchen an Bohrkernen ergaben im oberen Teilabschnitt im Mittel ebenfalls höhere Dichten als in dem unteren Abschnitt (Tabelle 8). Die Dichte-Differenz beträgt jedoch nur etwa  $\Delta\rho \approx 0,15 \text{ g/cm}^3$ .

Warum die Gesteinsdichte im Teilabschnitt 160 m bis 257 m höher ist, konnte im Rahmen dieser Bewertung nicht endgültig geklärt werden. Nicht auszuschließen ist eine stärkere Durchtrennung des Gebirges in der näheren Umgebung des Salinars, zumal aufgrund des höheren Wassergehaltes im unteren Abschnitt (ca. 350 – 395 m; Tabelle 8) ein höheres Hohlräumvolumen (Porenvolumen, Mikrorisse) im Gebirge wahrscheinlich ist.

Im „Hutgestein“ lassen sich anhand der Gesteinsdichte geophysikalisch zwei Abschnitte unterscheiden. Im oberen Teilabschnitt (ca. 395 bis 435 m) beträgt die Dichte etwa  $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$  /12/. Nach der Kernaufnahme handelt es sich vorwiegend um brekziöse Gips- und Anhydrit-Gesteine. Im unteren Teilabschnitt (ca. 435 bis 443 m) stehen Brekzien aus Schluff-/ Tonsteinen mit Gips- und Anhydrit-Anteilen mit einer stärker streuenden Dichte etwa zwischen  $\rho = 1,9 \text{ g/cm}^3$  und  $\rho = 2,4 \text{ g/cm}^3$  an.

Im Salinar lassen sich die Anhydritbänke (Anzahl 8) vom Steinsalz anhand der deutlich höheren Dichte unterscheiden (Abbildung 11). Sofern die aus den Laborergebnissen resultierende mittlere Gesteinsdichte von Steinsalz mit  $\rho = 2,17 \text{ g/cm}^3$  zugrunde gelegt wird, handelt es sich bis ca. 760 m Teufe um Steinsalz mit unterschiedlichen Anhydrit-Anteilen (Tendenz zur Teufe abnehmend).



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

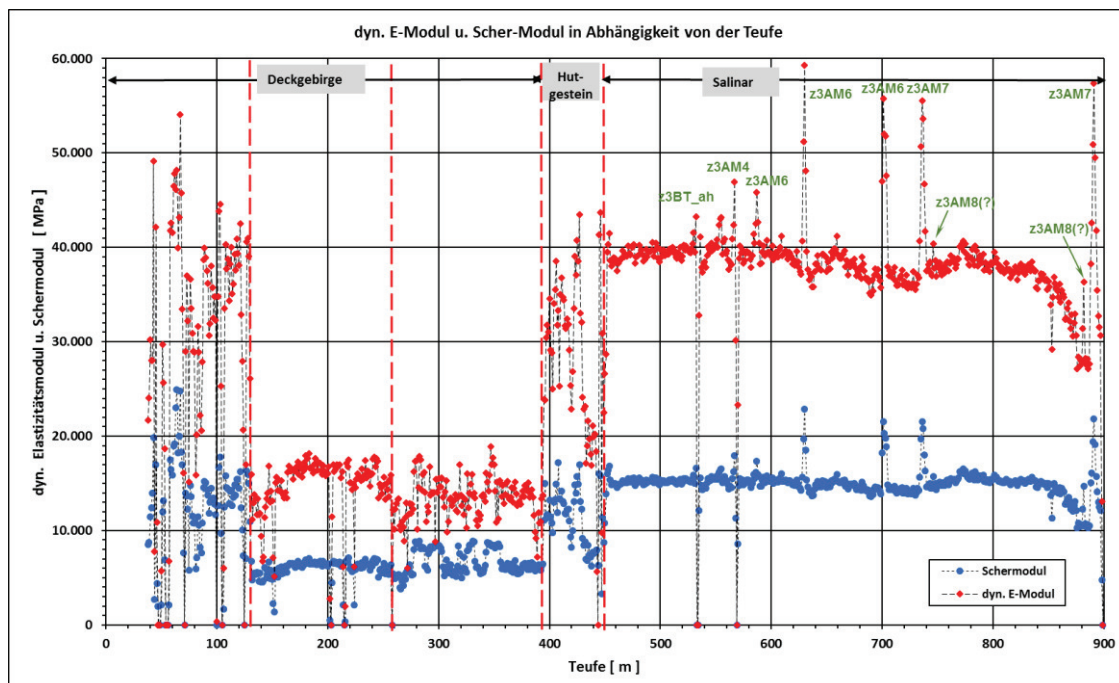
### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 37 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Im Rahmen der geologischen Feldaufnahme K-UTEC /5/ wurden zwar unterhalb von etwa 760 m Tiefe keine größeren Änderungen bzgl. der mineralogischen Zusammensetzung des Steinsalzes festgestellt, im Zuge der geologischen Detailaufnahme durch die BGR /28/ wurden im Schwadensalz zwischen 750,6 m und 874,5 m Tiefe einander abwechselnde sehr reine Steinsalzabschnitte mit anhydritisch-tonig verunreinigten Steinsalzabschnitten ausgewiesen. Auch der Bereich 874,5 m bis Endteufe unterscheidet sich nach den Ergebnissen der BGR erheblich vom Hangenden /28/. Die Dichte nimmt dort bis zur Endteufe bei 900 m auf  $\rho \approx 1,9 \text{ g/cm}^3$  ab. Eine mögliche Ursache könnte eine veränderte Salzvarietät sein /28/.

#### Dynamischer Elastizitätsmodul und Schubmodul

Der Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt. Zu unterscheiden ist der statische vom dynamischen E-Modul. Der dynamische E-Modul ist stets größer als der statische E-Modul. Der Unterschied nimmt mit steigendem E-Modul ab. Eine Umrechnung des dynamischen in den statischen E-Modul ist nur nach Kalibrierung der einzelnen in der Schichtenfolge anstehenden Gesteinsarten möglich. Der Schubmodul ist ebenfalls eine Materialkonstante, die das linear-elastische Verformungsverhalten eines Materials infolge einer Scherkraft oder Schubspannung kennzeichnet. Beide Moduli sind vom Wassergehalt im Gestein und vom Spannungszustand abhängig.



**Abbildung 12: Überblick über Änderungen des E-Moduls und Schubmoduls mit der Teufe (Bezeichnung der Anhydrite entsprechend des Berichtes der BGR /28/)**

Die beiden Elastizitätsparameter, der dynamische E-Modul und der Schubmodul, wurden von der Fa. Terratec anhand der Ergebnisse der Laufzeitmessungen der Kompressions- und Scherwelle mit Hilfe der Full Wave Sonic Bohrlochsonde (FWS) und der Gesteinsdichte ( $\gamma\text{-}\gamma$ -Sonde) berechnet (siehe /9/).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 38 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

In der Abbildung 12 sind dynamischer E-Modul und Schubmodul über der Teufe als Mittelwerte je Teufmeter dargestellt.

Wie sich bereits bei der Auswertung der  $\gamma$ -Messwerte gezeigt hat (relativer Anteil von Ton und Tonstein am Gestein), besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen den stratigraphischen Einheiten der in der Bohrung Remlingen 15 aufgeschlossenen Schichtenfolge und der Größe dieser Elastizitätsparameter. Die Streuung der Messwerte ist in der Wechsellagerung aus Kalksteinen und Mergelsteinen des Unteren Muschelkalks und im „Hutgestein“ am größten. Die Schichtenfolge des Oberen Buntsandsteins zeigt deutlich geringere E-Moduli und Schubmoduli mit einer im Vergleich zum Muschelkalk geringeren Streuung. Die folgende Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Bandbreite der dynamischen E-Modul- und Schermodul-Beträge in den einzelnen Homogenabschnitten:

**Tabelle 9: Dynamische E-Moduli und Schubmoduli in den Homogenabschnitten**

Abschnitt	Teufe		dyn. E-Modul [ MPa ]	dyn. Schubmodul [ MPa ]	Bemerkungen
	von [ m ]	bis [ m ]			
1	38	131	ca. 5.000 - 50.000	ca. 2.000 - 20.000	große Streuung
2a	131	260	ca. 10.000 - 18.000	ca. 4.000 - 7.000	
2b	260	395	ca. 10.000 - 18.000	ca. 4.000 - 9.000	größere Streuung
3a	395	430	ca. 25.000 - 40.000	ca. 8.000 - 16.000	größere Streuung
3b	430	443	ca. 18.000 - 22.000	ca. 6.000 - 10.000	
4a	443		ca. 35.000 - 40.000	ca. 14.000 - 16.000	Steinsalz
4b		900	ca. 40.000 - 58.000	ca. 16.000 - 22.000	Anhydrit

Im Salinar ist eine Unterscheidung von Steinsalz und Anhydrit anhand der beiden Elastizitätsparameter zuverlässig möglich. Die Werte für Steinsalz liegen unterhalb derjenigen für Anhydrit (siehe Abbildung 12).

Im Hutgestein ist der Anhydrit vorwiegend in Gips umgewandelt, das Gestein als Brekzie ausgebildet und mit Tonanteilen vergesellschaftet, so dass die Elastizitätsparameter entsprechend geringer sind.

Lt. BGR-Bericht /28/ sind innerhalb des Salinars 3 Subformationen zu unterscheiden:

450 – ca. 552 mT: Buntes Salz (z3BT, /28/ Kap. 2.4.2.5)

552 – ca. 751 mT: Anhydritmittel (z3AM, /28/ Kap. 2.4.2.6)

751 – ca. 875 mT: Schwadensalz (z3SS, /28/ Kap. 2.4.2.7)

875 – ca. 900 mT: Anhydritmittel (z3AM, /28/ Kap. 2.4.2.8)

Die Anhydritmittel (z3AM(7,8)) wiederholen sich zur Teufe.

Sowohl der dynamische E-Modul als auch der Schermodul nehmen tendenziell mit der Teufe ab, der E-Modul etwas deutlicher (Abbildung 12). Eine Änderung der Elastizitätsparameter in Abhängigkeit von der Subformation (Anhydritmittel, Schwadensalz) ist möglich, da die Werte im Teufenbereich des Schwadensalzes zunächst etwas ansteigen, danach aber wieder fallen. In den Anhydritmitteln fallen die Elastizitätswerte zur Teufe deutlich stärker ab, obwohl im Bereich 746 mT und 875 mT der gleiche stratigraphische Horizont ansteht.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

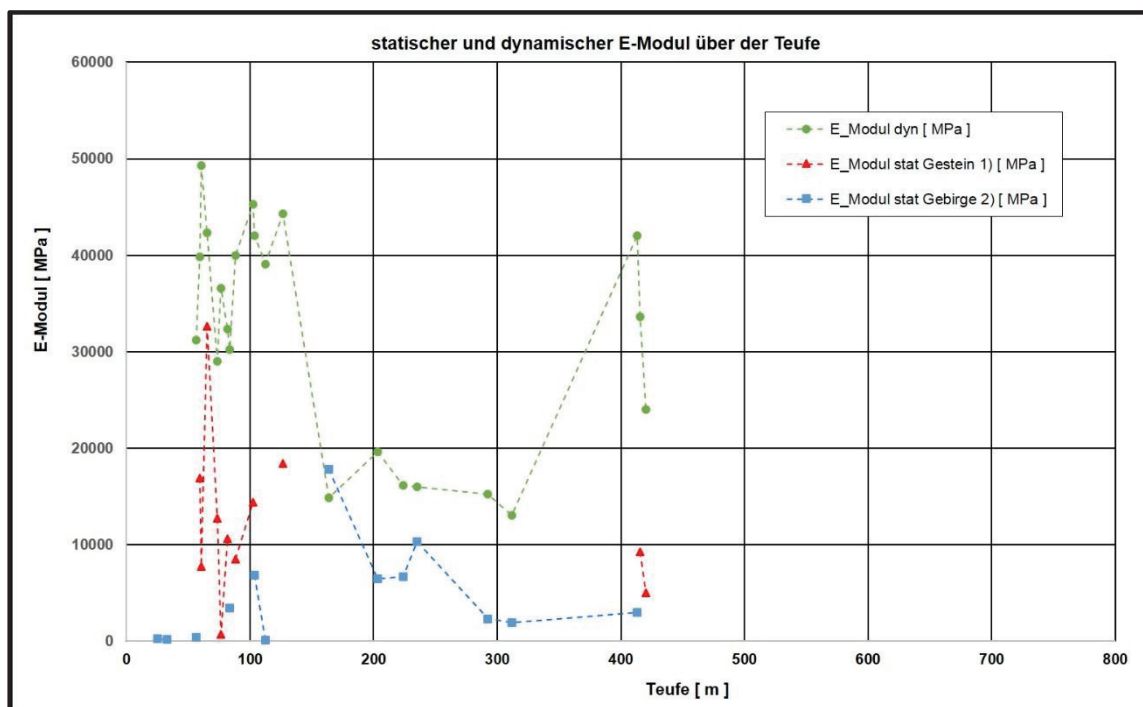
Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 39 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Eine deutlich stärkere Abnahme zeigt sich bei der Gesteinsdichte von ca. 2,4 g/cm<sup>3</sup> auf 1,9 bis 2,0 g/cm<sup>3</sup>. Ein Zusammenhang mit den Salzgesteinen der Subformationen ist möglich, jedoch anhand der Darstellung in Abbildung 11 nicht zuverlässig feststellbar.

Ob es sich hierbei um eine fehlerhafte Messwert-Korrektur aufgrund der zur Teufe zunehmenden Bohrlochaufweitung durch Salzablaugung handelt, konnte nicht endgültig geklärt werden.

Statische E-Moduli für das Gestein wurden vom IfG im Labor am Kernmaterial ermittelt (Tabelle 7). Dabei konnten nur wenige Werte ermittelt werden, da viele Gesteinsproben aufgrund der ungünstigen Verschneidung der Trennflächen (vor allem Schichtflächen spitzwinkelig zur Kernachse) leicht zerfallen. Weiterhin wurden im Bohrloch statische E-Moduli mittels Dilatomertests ermittelt. Hierbei sei erwähnt, dass diese Ergebnisse durch das Auftreten von Trennflächen im Gebirge beeinflusst sein können. Daher sind diese Ergebnisse als Elastizitätsmoduli des Gebirges zu werten.

Die in der Tabelle 9 zusammengestellten dynamischen E-Moduli (in Abbildung 13: E\_Modul dyn) und Schubmoduli nach den geophysikalischen Bohrlochmessungen sind z.T. um mehr als eine 10er Potenz größer als die statischen E-Moduli nach den Labortests (E\_Modul stat Gestein 1) und den Dilatomermessungen (E\_Modul stat Gebirge 2), wie das folgende Diagramm in Abbildung 13 zeigt.



**Abbildung 13: Übersicht über die dynamischen und statischen E-Moduli (dynamische E-Moduli wurde aus den geophysikalischen Messungen für die Punkte, wo statische Messwerte vorlagen, ausgelesen)**

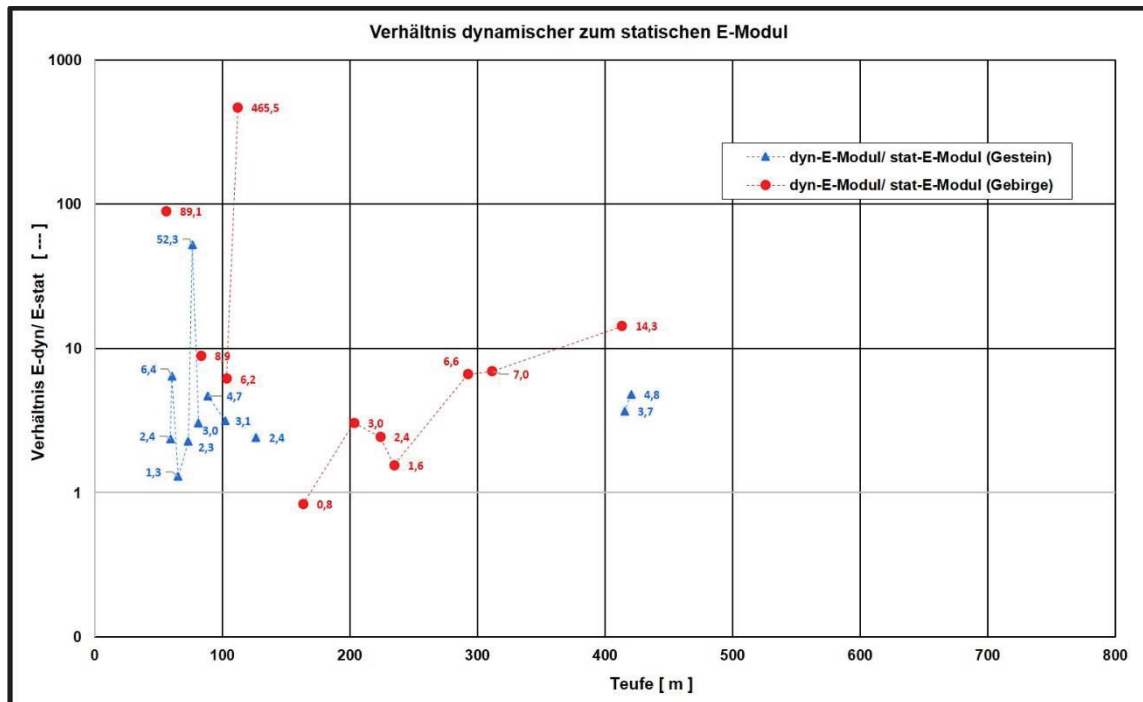
Die dynamischen E-Moduli sind mit Ausnahme des Messpunktes in 164 m Teufe stets größer als die statischen E-Moduli der Gesteine und des Gebirges. Und soweit Vergleichswerte vorliegen, sind die E-Moduli des Gebirges kleiner als jene der Gesteine.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 40 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Im folgenden Diagramm Abbildung 14 ist das Verhältnis des dynamischen E-Moduls zum statischen E-Modul des Gesteins und des Gebirges im Deckgebirge logarithmisch über der Teufe dargestellt.



**Abbildung 14: Verhältnis dynamischer E-Modul zum statischen E-Modul des Gesteins und Gebirges im Deckgebirge**

Nur der statische Wert in ca. 164 m Teufe (vermutlich eine Sandsteinbank innerhalb der vorwiegend aus Schluffsteinen bestehenden Schichtenfolge) entspricht in etwa dem dynamischen E-Modul. Die größten Unterschiede zwischen E-dyn und E-stat treten in den Teufen 56,3 m und 112,2 m auf und hängen vermutlich mit tektonischen Störungen im Nahbereich der Bohrung zusammen.

Für das Salinar wurden an einzelnen Kernproben für Steinsalz vom IfG Leipzig dynamische E-Moduli zwischen 34,0 und 40,8 GPa bestimmt, jedoch keine statischen E-Moduli.

Für die Ausbauplanung im Rahmen der Konzeptplanung sollten, soweit vorhanden, die statischen E-Moduli des Gebirges im unteren Ergebnisbereich angenommen werden.

#### Querdehnung (Poissonzahl)

Die Poissonzahl ist eine elastische Materialkonstante und beschreibt das Verhältnis der relativen Querdehnung  $\Delta d/d$  zur relativen axialen Dehnung  $\Delta l/l$ . Dieser Kennwert wurde von der Fa. Terratec aus den Laufzeiten der transversalen Kompressions-(tp) und Scherwelle (ts) berechnet (Details siehe /9/).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 41 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Im Diagramm der Abbildung 15 sind die Mittelwerte der Poissonzahl je Teufmeter dargestellt. Deutliche Unterschiede zeigen sich zwischen dem Deckgebirge und dem Salinar bzgl. der Streuung dieser Kennzahl. Sie resultiert im Wesentlichen aus der Inhomogenität der Schichtenfolge im Deckgebirge und des „Hutgesteins“ einschließlich etwaiger Dichteunterschiede. Im Teufenabschnitt zwischen ca. 270 m und 395 m traten zahlreiche Abschnitte mit einer negativen Poissonzahl auf (im Diagramm nur als Leerstellen sichtbar). Diese Werte sind eine Folge langer Laufzeiten der p- und s-Welle mit nur geringen Laufzeitdifferenzen. Stellenweise fehlt die s-Welle (z.B. 201 – 202 mT und 214 – 215 mT).

Dieses Verhalten kann im Abschnitt 270 bis 395 m im Wesentlichen auf geringe bis sehr geringe Festigkeiten zurückgeführt werden (vgl. u.a. Abbildung 7, Abbildung 11 und Abbildung 12). Die Werte von  $0,07 \leq \nu \leq 0,27$  in dem genannten Abschnitt täuschen vermutlich ein zu steifes Gebirge vor. Die Poissonzahl im übrigen Deckgebirge und im „Hutgestein“ erscheint nach den Erfahrungen ( $\nu = 0,2 - 0,4$ ) plausibel. Die große Streuung ist vermutlich auf die Inhomogenität der Schichtenfolge und die Anisotropie durch wechselnde Lagerungsverhältnisse zurückzuführen.

Für Steinsalz (z.T. anhydritisch) ergeben sich Poissonzahlen von  $\nu = 0,29$  bis  $0,30$ . Für die Abnahme der Poissonzahl auf etwa  $\nu = 0,2$  in Teufen unterhalb von ca. 750 m konnte keine plausible Erklärung gefunden werden.

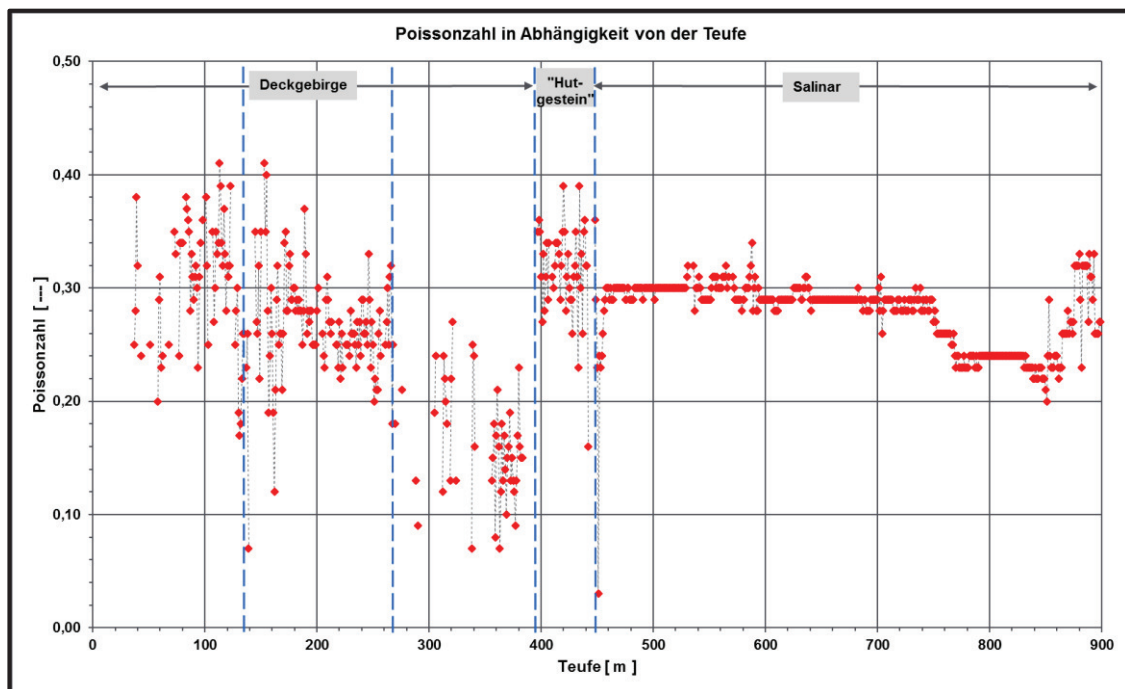


Abbildung 15: Änderung der Poissonzahl mit der Teufe (Mittelwerte je Teufmeter)

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 42 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### 4 Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung Remlingen 15

#### 4.1 Deckgebirge einschließlich „Hutgestein“

Anhand des Gebirgsverhaltens der Bohrlochwand bzgl. der Nachbruchtiefe und der Bohrlochverformung nach den Kalibermessungen als Reaktion des Gebirges auf die Gebirgseigenschaften wurden empirisch die relativen Standfestigkeiten des Gebirges eingeschätzt. Das Gebirge wurde den Klassen nach Tabelle 10 auf Basis von Erfahrungswerten der ARGE zugeordnet.

**Tabelle 10: Klassen der Bohrloch-Standfestigkeit**

Klasse	Standfestigkeit
1	Gebirge im allgemeinen standfest
2	Gebirge temporär standfest
3	Gebirge nicht standfest

Die hierfür festgelegten Bedingungen sind nachfolgend angegeben:

Klasse 1: Gebirge i.allg. standfest, wenn

- die Bohrloch-Erweiterung  $\leq 2\%$  des Bohrlochdurchmessers oder
- die Konvergenz  $< 1\%$  des Bohrlochdurchmessers ist.

Klasse 2: Gebirge temporär standfest für eine begrenzte Standzeit, wenn

- die Bohrloch-Erweiterung zwischen  $2\%$  und  $10\%$  des Bohrlochdurchmessers oder
- $1\% \leq$  Konvergenz  $< 3\%$  des Bohrlochdurchmessers ist.

Klasse 3: Gebirge nicht standfest, wenn

- die Bohrloch-Erweiterung  $\geq 10\%$  des Bohrlochdurchmessers oder
- der RQD  $/6/ \leq 50$  oder
- die Konvergenz  $\geq 3\%$  des Bohrlochdurchmessers ist.

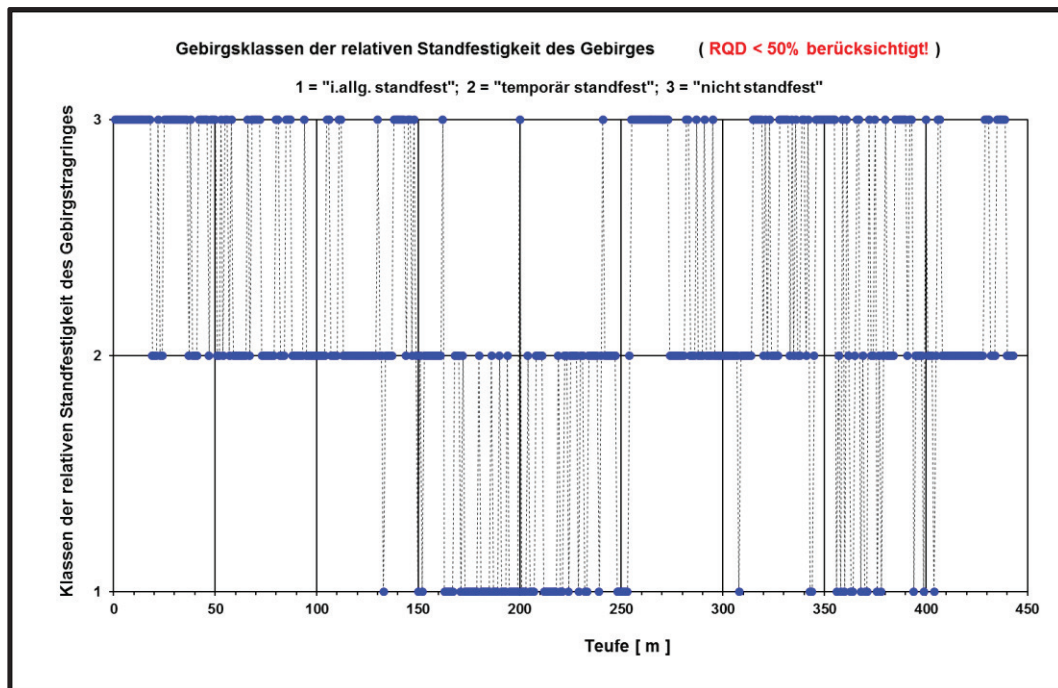
In der Klasse 3 (Gebirge nicht standfest) wurde zusätzlich der Kernzerfall mit einem RQD-Wert kleiner gleich 50 als Bedingung ergänzt, da erfahrungsgemäß kleine RQD-Werte, von Ausnahmen abgesehen, auch eine erhöhte Trennflächendichte ( $=1/\text{Trennflächenabstand je } 1 \text{ m Kernlänge}$ ) im Gebirge aufweisen.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 43 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Die aus den Auswertungen resultierenden Standfestigkeitsklassen sind in Abbildung 16 über der Bohrteufe dargestellt.



**Abbildung 16: Relative Standfestigkeit des Deckgebirges in der Bohrung Remlingen 15**

Bis in ca. 150 mT ist das Gebirge teilweise als temporär standfest, teilweise als nicht standfest zu bewerten. Dieses Ergebnis resultiert einerseits aus einer Wechsellagerung von Kalksteinen und Mergelsteinen des Unteren Muschelkalks (bis ca. 131 mT) und von 131 mT bis ca. 150 mT aus einer Wechsellagerung von Schluffstein und tonigem Schluffstein des Oberen Buntsandsteins, andererseits aus dem ausgeprägten Trennflächengefüge (steile Schichtung, mindestens zwei Kluftscharen und mehrere Störungen), siehe Tabelle 2 und Abbildung 4.

Der Abschnitt zwischen ca. 150 mT und 254 mT im Oberen Buntsandstein ist aus einer Wechsellagerung von Schluffstein und Feinsandsteinlagen und –bänken z.T. mit plastischen tonigen Zwischenlagen aus Schluff aufgebaut und zeigt einen häufigen Wechsel aus i.allg. standfesten und temporär standfesten Gebirgsabschnitten mit Ausnahmen in den Teufen ca. 162 mT, 200 mT und 241 mT, in denen das Gebirge als nicht standfest bewertet ist. An diesen Stellen sind eine hohe Anzahl an Trennflächen beobachtet (Tabelle 2). Nachbruch oder Konvergenz der Bohrlochwand ist nach den Kalibermessungen nicht eingetreten, so dass hier von einem labilen Zustand der Bohrlochwand auszugehen ist.

Im Abschnitt zwischen ca. 254 mT und 395 mT ist der Anteil an Feinsandsteinlagen und –bänken innerhalb des Schluffsteins und tonigen Schluffsteine im Vergleich zum Abschnitt 150 bis 254 mT deutlich geringer. Das Gebirge wurde überwiegend als temporär standfest und nicht standfest bewertet. Im Abschnitt von etwa 360 mT bis 380 mT sind häufiger auch kurze, i.allg. standfeste Gebirgsabschnitte vorhanden. In diesen Abschnitten sind verstärkt Gipslagen und –linsen in die Schichtenfolge aus Schluffstein und tonigen Schluffsteinen eingelagert. Anstelle von Nachbrüchen treten ab ca. 322 m Teufe bis in das Residualgebirge häufiger Verformungen der Bohrlochwand auf.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 44 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Untersuchungen der Gesteinsdichte und des Wassergehaltes von der Fa. IfG zeigen, dass die mittlere Gesteinsdichte in diesem Abschnitt (ca. 254 mT bis 395 mT) im Vergleich zu dem Abschnitt von etwa 131 mT bis 254 mT des Oberen Buntsandsteins geringer, der Wassergehalt höher ist (vgl. Tabelle 8). Festigkeitsuntersuchungen an zwei Kernproben in diesem Abschnitt (322,7-323 mT und 394-394,5 mT) ergaben geringe einaxiale Druckfestigkeiten von  $\sigma_c = 0,15$  MPa und  $\sigma_c = 1,3$  MPa. Auch die Ergebnisse der statischen Elastizitäts- und Verformungsmoduli zeigen im Abschnitt 254 bis 395 mT im Vergleich zu dem oberen Abschnitt des Oberen Buntsandsteins geringere Werte um den Faktor 2 und größer. Somit ist die Beanspruchung und Verformbarkeit des Gebirges im Vergleich zum Abschnitt 131 bis 254 mT nachweisbar als höher zu bewerten, was anhand der relativen Standfestigkeits-Betrachtung bestätigt wird.

Das Residualgebirge weist vorwiegend ein als temporär standfest einzustufendes Gebirgsverhalten auf. Für den Abschnitt ca. 430 m bis 443 m ergibt sich ein mehrfacher Wechsel aus temporär standfestem und nicht standfestem Gebirge. Es handelt sich um einen aus brekziösem Gips/Anhydrit und tonigem Schluffstein bestehenden Gebirgsbereich im Kontakt zum Salinar.

Untersuchungen von IBEWA haben gezeigt, dass der Tonmineralgehalt am Gesamtgestein im gesamten Deckgebirge mit Ausnahme des „Hutgestein“ maximal ca. 20 Ma% am Gesamtgestein ausmacht. Lediglich im Hutgestein wurde ein höherer Anteil an Tonmineralien (überwiegend Montmorillonit) bis ca. 30 % ermittelt. Aus diesem Grund sind im „Hutgestein“ Kriechverformungen nicht auszuschließen.

## 4.2 Salinar

Im Salinarbereich wurde zwischen 450 und 900 mT Steinsalz der Zechsteinformation mit vereinzelt Anhydritlagen sowie stellenweise auftretende mächtigere Anhydritbänke im Meter-Bereich erbohrt. Steinsalz weist aufgrund seiner plastischen Materialeigenschaften unter deviatorischen Beanspruchungen ein ausgeprägtes Kriechverhalten auf. Die Kriechfreudigkeit wird aber allgemein als gering eingeschätzt /12/.

Die an homogen ausgebildeten Kernproben ermittelten einaxialen Druckfestigkeiten liegen zwischen 30 und 45 MPa. Mit steigendem Anhydritanteil ist hierbei eine zunehmende Festigkeit zu beobachten. Treten im Gesteinsverband Kontakt- bzw. anderweitige Schwächeflächen auf, so kann die einaxiale Druckfestigkeit bis auf 22,5 MPa abfallen. Die ermittelten Festigkeiten entsprechen dem typischen Wertebereich von Steinsalzformationen.

Das Salinar kann im elastischen Beanspruchungsbereich als standfest charakterisiert werden. Bei einer Überschreitung der Materialfestigkeit reagiert es in Abhängigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit und Belastungshöhe ausgeprägt plastisch.

Für Steinsalz mit der ermittelten minimalen einaxialen Druckfestigkeit von  $\sigma_c = 30$  MPa und einer angenommenen mittleren Gesteinsdichte aus dem Deckgebirge von  $\rho = 0,025$  MPa und im Salinar von  $\rho = 0,022$  MPa ergibt sich unter Ansatz einer axialsymmetrischen Spannungsverteilung und einem elastischen Materialverhalten eine Grenzteufe, ab der eine plastifizierte Zone in der Hohlraumkontur zu erwarten ist.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 45 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Die gesamte Überlagerung bis zum Erreichen der Grenzteufe beträgt überschlägig:

$$T_i(\text{Grenz}) = M_1 + M_2$$

$$p_1 = \gamma_1 * M_1$$

$$p_2 = \gamma_2 * M_2$$

$$p_i(\text{zul}) = \sigma_{\text{cmin}}/2$$

$$T_i(\text{Grenz}) = [\sigma_{\text{ci}}/2 - \gamma_1 * M_1] / \gamma_2 + M_1$$

mit

$T_i(\text{Grenz})$ :	Grenzteufe für das Salzgestein(i)
$M_1$ :	Mächtigkeit des Deckgebirges (Annahme: ca. 443 m)
$M_2$ :	Mächtigkeit des Salinars zwischen Salzspiegel und Grenzteufe [m]
$\sigma_{\text{cmin}}$	minimale einaxiale Druckfestigkeit des Salzgesteins [30 MPa]
$\gamma_1$	mittlere Dichte des Deckgebirges (Annahme: $\gamma_1 = 0,025$ MPa)
$\gamma_2$	mittlere Dichte des Steinsalzes (Annahme: $\gamma_2 = 0,022$ MPa)

Für Steinsalz I = 1 ergibt sich eine Grenzteufe von etwa

$$T_1(\text{Grenz}) \cong [30/2 - 0,025 * 443] / 0,022 + 443 \text{ m} = 621 \text{ m}$$

Für anhydritisches Steinsalz  $T_2(\text{Grenz})$  sowie anhydritisches Steinsalz mit Kontakt- und Schwächeflächen  $T_3(\text{Grenz})$  resultieren in etwa die folgenden Grenzteufen:

Anhydritisches Steinsalz I = 2

$$T_2(\text{Grenz}) \cong [45/2 - 0,025 * 443] / 0,022 + 443 \text{ m} = 962 \text{ m}$$

Anhydritisches Steinsalz mit Kontakt- und Schwächeflächen I = 3

$$T_3(\text{Grenz}) \cong [22,5/2 - 0,025 * 443] / 0,022 + 443 \text{ m} = 451 \text{ m}$$

Bei diesen Angaben zu den Grenzteufen sind folgende Einschränkungen zu berücksichtigen:

- Schwankungen der Zusammensetzung des Steinsalzes (z.B. Variation des Anteils an Gips und Anhydrit).
- Das in Abhängigkeit von der Belastungsgeschwindigkeit der Gesteine beginnende Kriechverhalten in hiervon abweichenden Teufen.
- Ein Abminderungsfaktor der Gesteinsfestigkeit  $\sigma_{\text{ci}}$  für Inhomogenitäten des Salzgesteins.

Zur Sicherung des Schachtes im Salinar gegen Abplatzungen und Nachbrüche aus dem Gebirgstragring sind Sicherungsmaßnahmen im gesamten Salinar-Abschnitt wahrscheinlich notwendig. Üblich sind Gebirgsanker mit hinreichender Länge, Tragkraft und Ankerdichte, ggf. mit Netzverzug (z.B. aus Geotextil).

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit des Schachtes ist darüber hinaus eine Betrachtung der zu erwartenden Konvergenzen notwendig. Die Prognose möglicher Konvergenzraten ist im Wesentlichen abhängig von dem Überlagerungsdruck, den Materialeigenschaften sowie dem Schachtdurchmesser.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 46 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

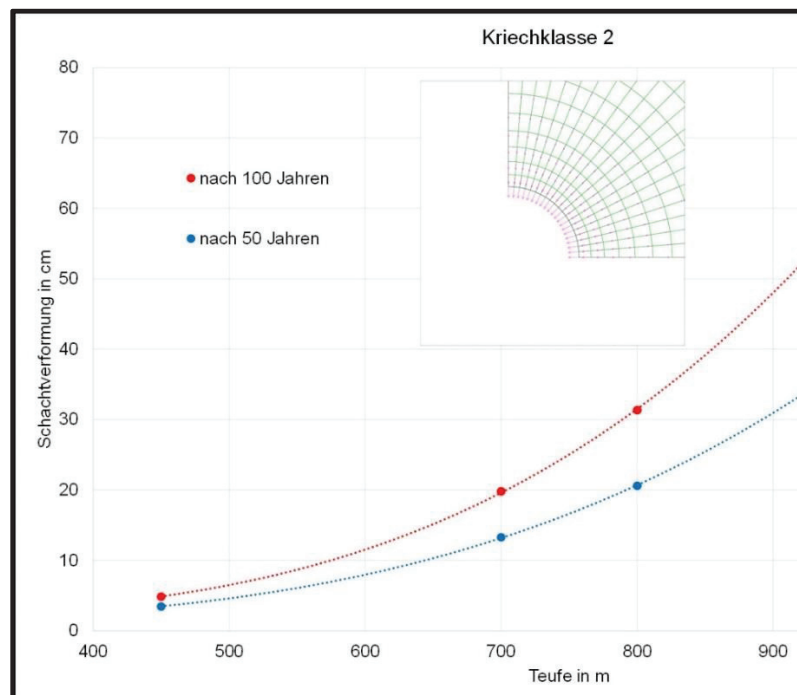
Trotz der vom IfG gemessenen geringen Kriechfreudigkeit (Kriechklassen -1 bis 2 /12/) des Steinsalzes sind Kriechverformungen der Gebirgskontur zu erwarten. Mit zunehmender Teufe und Nutzungsdauer des Schachtes steigen die Verformungsbeträge weiter an, verbunden mit einer Verringerung des Querschnittes des Schachtes bei Verwendung der o.g. Gebirgssicherung. Es ist somit davon auszugehen, dass der Schacht mit einem Überprofil aufzufahren ist, damit am Ende der Nutzungsdauer der geforderte lichte Schachtdurchmesser eingehalten wird.

Zur Untersuchung der Verformung des Schachtes wurde ein vereinfachtes geomechanisch-numerisches Modell erstellt. Der Schachtdurchmesser im Salinar beträgt nach aktuellem Planungstand 8,0 m. Als Stoffgesetz für dieses vereinfachte Modell wurde das BGR-Stoffgesetz mit folgenden Parametern verwendet (siehe Kap. 4.7.4, /12/):

- $A = 0,18/d$
- $N = 5$
- $Q = 59 \text{ kJ/mol}$
- $R = 8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/(mol}\cdot\text{K)}$
- $T = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$

Als Kriechklasse wird hier die Kriechklasse 2 verwendet, was einem Vorfaktor von 1/8 entspricht /12/.

In Abbildung 17 ist die Schachtverformung in Abhängigkeit der Teufe als Ergebnis der vereinfachten Modellrechnung mit den oben aufgeführten Parametern dargestellt. Es wurde ein hydrostatischer Druckzustand mit einem Gebirgsdruck von 25 MPa in einer Teufe von 1000 m angenommen. Der untersuchte Teufenbereich beginnt in etwa am Top des Salzstockes bei 450 m und endet hier bei 800 m. Nach derzeitigem Planungsstand wird die Endteufe des Schachtes bei maximal 800 m liegen.



**Abbildung 17: Schachtdeformation infolge Kriechverformung für unterschiedliche Teufen**

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 47 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

In der Darstellung ist zu erkennen, dass mit dem verwendeten Stoffgesetz und den aufgeführten Kriechparametern eine maximale Schachtverformung durch Kriechprozesse von ca. 32 cm bei einer Standzeit von 100 Jahren auftritt. Das bedeutet, dass der Schacht in diesem Fall bei einer angenommenen Lebensdauer von 100 Jahren mit einem Überprofil von ca. 16 cm bezogen auf die Schachtachse im unteren Teufbereich aufgefahren werden müsste. Mit diesem Überprofil kann der zu gewährleistende Schachtquerschnitt über eine Nutzungsdauer von mindestens 100 Jahren sichergestellt werden.

Anzumerken ist, dass diese Analyse keine Planung darstellt, sondern zeigen soll, dass der Schacht mit den ermittelten Kriechparametern grundsätzlich realisierbar ist.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 48 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

### 5 Gebirgsspannungen

Zur Bestimmung des lokalen Spannungsfeldes am Standort des geplanten Schachtes wurden von der Fa. MeSy-Solexperts in der Bohrung Remlingen 15 hydraulische Spannungsmessungen durchgeführt. Insbesondere sollte untersucht werden, wie groß die Anisotropie der Hauptspannungskomponenten am Standort ist und wie diese geographisch orientiert sind. Die Ergebnisse sind im Abschlussbericht der Fa. MeSy-Solexperts /11/ dargestellt und im Abschlussbericht „Geologie“ der Fa. K-UTEC /5/ zusammengefasst.

In jedem der 5 Bohrabschnitte (Tabelle 11) waren mehrere hydraulische Spannungstests geplant. Im 3. Bohrabschnitt konnten aufgrund einer Havarie der Messsonde keine Spannungsmessungen durchgeführt werden. Die Reihenfolge der Spannungsmessungen und Zuordnung zu den Bohrteufen sind in der Tabelle 11 zusammengestellt.

**Tabelle 11: Ergebnisse der Berechnungen des Spannungsfeldes (Fa. MeSy-Solexperts) /11/**

Bohrabschnitt	Stratigraphie	Test Nr.	Teufe T [m]	Spannungskomponenten			Spannungs-Verhältnis			Azimet (Nord = 0)
				$S_v$ [MPa]	$S_h$ [MPa]	$S_H$ [MPa]	$S_h / S_v$ [---]	$S_H / S_v$ [---]	$S_H / S_H$ [---]	$S_H$ [Grad]
I	Unterer Muschelkalk	3	60	1,5	1,4	2,8	0,93	1,87	0,50	115
		2	117,3	2,9	2,3	3,4	0,79	1,17	0,68	92
II	Oberer Bunt- sandstein	1	128,5	3,1	2,3	3,45	0,74	1,11	0,67	144
		7	179,4	4,4	4,6	7	1,05	1,59	0,66	100
		6	191,95	4,7	4,9	7,4 - 7,45	1,04	1,58	0,66	97
		5	209,05	5,1	4,4	5,5	0,86	1,08	0,80	159
		4	232,4	5,7	5,5	9,3	0,96	1,63	0,59	128
III										
IV	Hut- gestein	9	413,5	10,1	9,3	12,9	0,92	1,28	0,72	141
		8	424	10,4	10,4	16,8	1,00	1,62	0,62	122
				$S_{min}^*$			$S_{min} / S_v^*$	--	--	
V	Zechstein	15	499	12,1	10,4	--	0,86	--	--	(42)
		14	545	13,1	12,6	--	0,96	--	--	(66)
		12	646,5	15,2	14,5	--	0,95	--	--	
		11	735	17,2	13,85	--	0,81	--	--	
		10	888,8	20,5	16,2	--	0,79	--	--	(27)

\*) Im Zechstein-Salinar wurde die minimale Gebirgsspannung aufgrund der fehlenden Daten zur Orientierung der hydraulisch induzierten Risse nur aus den Shut-in Druckwerten bestimmt. Zur Unterscheidung wurde die Bezeichnung  $S_{min}$  anstelle  $S_h$  verwendet.

Die wesentlichen Ergebnisse beziehen sich auf folgende Gebirgsparameter:

- Die 3 Hauptspannungen  $S_v$ ,  $S_h$  und  $S_H$
- Die Orientierung der Horizontalspannungen

#### Hauptspannungen

Die Vertikalspannung  $S_v$  der Schichtenfolge wurde für eine mittlere Dichte des Deckgebirges von  $\rho = 2,5 \text{ g/cm}^3$  berechnet, im Salinar für eine mittlere Dichte von Steinsalz von  $\rho = 2,2 \text{ g/cm}^3$ . Die berechneten Werte sind für die Testteufen in der Tabelle 11 angegeben /11/.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

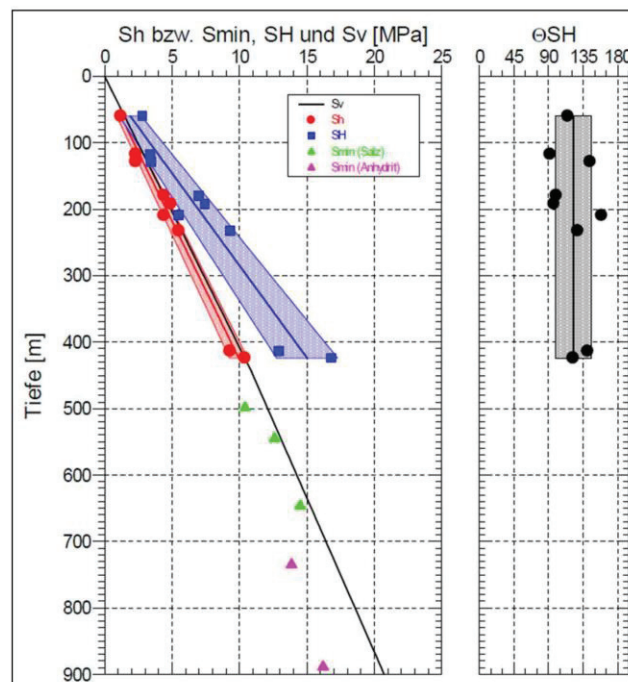
### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 49 von 94
NAAN	NNNNNNNN	<del>AAA</del>	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Die kleinere der beiden horizontalen Hauptspannungen  $S_h$  wurde mit Hilfe der hydraulischen Spannungstests in den festgelegten Teufen ermittelt (Tabelle 11). Im Zechstein-Salinar wurde die minimale Gebirgsspannung aufgrund der fehlenden Daten zur Orientierung der hydraulisch induzierten Risse nur aus den Shut-In Druckwerten bestimmt. Zur Unterscheidung wurde die Bezeichnung  $S_{min}$  anstelle  $S_h$  verwendet.

Der Betrag der größeren Horizontalspannung  $S_H$  kann in der vertikalen Bohrung nicht gemessen werden. Die Spannungsberechnung erfolgte von der Fa. MeSy-Solexperts nach der Methode von Hubbert und Willis (1957) /11/. Aufgrund der fehlenden Daten zur Orientierung der hydraulisch induzierten Risse im Salinar wurde die größere Horizontalspannung nur für das Deckgebirge einschließlich dem „Hutgestein“ in der Tabelle 11 angegeben.

Die 3 Hauptspannungen sind im Diagramm der Abbildung 18 über der Teufe graphisch dargestellt.



**Abbildung 18: Spannungsfeld im Bereich der Bohrung Remlingen 15 /11/**

Vertikalspannung und kleinere Horizontalspannung nehmen zur Teufe kontinuierlich zu und zeigen im Deckgebirge und Salinar (Steinsalz) ein einheitliches Verhältnis von  $S_h/S_v$  bzw.  $S_{min}/S_v \cong 0,9 \pm 0,1$ . In den Anhydrit-Bänken (Test Nr. 10 und 11) weicht dieses Verhältnis mit  $S_{min}/S_v \cong 0,8$  hiervon etwas ab.

Im Deckgebirge beträgt das Verhältnis der größeren horizontalen Hauptspannung zur Vertikalspannung zwischen  $S_H/S_v \cong 1,1$  und  $1,9$  (im Mittel  $S_H/S_v \cong 1,4$ ) und das Verhältnis der beiden horizontalen Hauptspannungen zueinander zwischen  $S_h/S_H \cong 0,5$  und  $0,8$  (im Mittel  $S_h/S_H \cong 0,66$ ). Über die größere Horizontalspannung im Salinar werden im Abschlussbericht /11/ keine Angaben gemacht.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 50 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Als wahrscheinlich gilt ein näherungsweise isotroper Spannungszustand im Steinsalz und ein hier-von abweichender anisotroper Spannungszustand in den Gebirgsabschnitten mit Anhydritbänken. Dieser Trend zeichnet sich bereits bei dem abweichenden Verhältnis  $S_h/S_v$  von etwa 0,8 im Vergleich zu  $S_h/S_v \cong 0,9 \pm 0,1$  im Steinsalz ab.

### Orientierung der Horizontalspannungen

Das in situ Spannungsfeld für das Deckgebirge in der Bohrung Remlingen 15 wird mit  $S_h \leq S_v < S_H$  angegeben. Dabei verläuft die größere horizontale Hauptspannung  $S_H$  mit  $N122^\circ \pm 23^\circ$  in NW-SE-Richtung etwa parallel zur Faltenachse des Asse-Sattels und entspricht in etwa der in Mitteleuropa vorherrschenden tektonisch bedingten Hauptkompressionsrichtung.

Der deutliche Unterschied der beiden horizontalen Hauptspannungen  $S_h$  und  $S_H$  im gesamten Deckgebirge mit einem mittleren Verhältnis  $S_h/S_H \cong 0,66$  verursacht über den Umfang eines vertikalen Hohlraumes ungleichförmige Spannungen und ist bei der Ausbauplanung zu berücksichtigen.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 51 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

## 6 Gebirgschwässer

### 6.1 Hydraulische Eigenschaften des Gebirges

Die hydraulischen Bohrlochmessungen (Slug-Tests, Puls-Tests, Pumpversuche) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 zur Untersuchung der Gebirgsdurchlässigkeit und der Formationswasserdrücke führte die Fa. Solexperts durch. Von insgesamt 17 hydraulischen Tests mit Doppel- oder Einfachpacker (Tabelle 12) wurden 3 Intervalle im Unteren Muschelkalk (i1, i2a und i2b, i3), 6 Intervalle im Oberen Buntsandstein (i5 bis i10) und im Übergang Oberer Buntsandstein/ „Hutgestein“ ein Intervall (i11) getestet. Im Salinar wurden insgesamt 7 Intervalle hydraulisch untersucht (i12 bis i18). Die Testabschnitte liegen im Bereich der anstehenden Anhydrit-Lagen und –bänke. Die wesentlichen hydraulischen Kennwerte und Ergebnisse sind in der Tabelle 12 zusammengestellt. Für Details wird auf den Abschlussbericht der Fa. Solexperts /10/ und die Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse von der Erkundungsbohrung Remlingen 15 im geologischen Bericht der Fa. K-UTEK /5/ verwiesen. Die Ergebnisse dokumentieren die stark differenzierten hydrogeologischen Verhältnisse am Standort des geplanten Schachtes.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 52 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	

**Tabelle 12: Ergebnisse der hydraulischen Bohrlochuntersuchungen in der Bohrung Remlingen 15**

Test-intervall	Tiefe [m]	Intervall-Mittelpunkt [m]	Druck-Intervall-Mittelpunkt [kPa]	Temperatur [°C]	Dichte Wasser [kg/m³]	Testart	Transmissivität [m²/s]		Durchlässigkeit [m/s]		Speicher-koeffizient		Formations-druck [kPa]	Frischwasser-druckhöhe [mNN]	Stratigraphie	
							best fit	max	best fit	max	best fit	max				best fit
RE-15-11	52,00 – 67,06	59,53	308,1	13,7	1000,6	Doppelpackertest									mu	
RE-15-12a	78,00 – 93,06	85,53	564,9	13,0	1001,2	Doppelpackertest	4,1E-05	8,0E-05	2,8E-06	5,3E-06	7,5E-06	2,8E-03	462,5	---	mu,	
RE-15-12b	78,00 – 134,58	106,29	767,7	13,0	1001,3	Einfachpackertest	1,4E-05	7,4E-05	2,4E-07	1,3E-06	5,7E-04	5,7E-04	459,7 - 461,4	178,1 - 178,3	ab 130,4 m so (Rot)	
RE-15-13	100,00 – 115,06	107,53	779,3	12,9	1000,9	Doppelpackertest	1,4E-06	8,3E-06	9,0E-08	5,5E-07	2,7E-04	3,3E-04	677,2 - 677,9	177,7 - 177,8	mu	
RE-15-14	151,00 – 259,00	205,00	1759,0	14,3	1001,6	Einfachpackertest	9,7E-07	1,3E-06	9,0E-09	1,2E-08	1,1E-05	1,5E-05	1111 - 1200	171,0 - 180,1	so (Rot)	
RE-15-15	156,00 – 181,05	168,53	1479,0	14,2	1001,5	Doppelpackertest	2,6E-10	1,0E-09	1,0E-11	4,0E-11	5,2E-04	5,3E-04	1389 - 1372	192,2 - 192,5	so (Rot)	
RE-15-16	193,00 – 218,05	205,53	1832,4	16,0	1001,3	Doppelpackertest	2,7E-09	1,8E-08	1,1E-10	7,2E-10	2,9E-06	6,0E-05	1677 - 1686	188,6 - 187,6	so (Rot)	
RE-15-17	302,00 – 357,27	329,64	3082,5	20,0	1001,2	Doppelpackertest	4,5E-07	4,6E-07	8,2E-09	8,4E-09	2,6E-05	3,1E-05	2709 - 2710	183 - 183	so (Rot)	
<b>RE-15-18</b>	<b>302 - 405</b>															
<b>Nach Versuchsende im Abschnitt 17 verstärkte das Bohrloch. Der geplante Versuch im Abschnitt 18 wurde aufgegeben.</b>																
RE-15-19	409,00 – 421,23	415,12	4086,0	24,3	1076,9	Doppelpackertest	2,0E-12	3,6E-12	1,6E-13	2,9E-13	9,4E-06	1,3E-05	3782 - 4007	186 - 209	Hut	
RE-15-19	421,30 – 433,53	427,42	4231,3	25,4	1076,5	Doppelpackertest	1,3E-10	1,4E-10	1,0E-11	1,1E-11	9,4E-06	1,2E-05	3847 - 3848	180 - 180	Hut	
RE-15-110	421,30 – 450,00	435,65	4086,5	26,0	1076,2	Einfachpackertest	7,5E-10	9,6E-10	2,8E-11	3,3E-11	3,7E-06	5,7E-06	3686 - 3903	164 - 187	Hut/Salinar	
RE-15-112	496,00 – 536,04	516,02	5970,0	29,0	1198,9	Doppelpackertest	1,6E-12	7,4E-12	4,0E-14	1,8E-13	2,1E-05	6,2E-06	4310 - 5148	157 - 242	Salinar	
RE-15-113	535,00 – 575,04	555,02	6472,0	29,9	1198,6	Doppelpackertest	4,1E-12	4,1E-12	1,0E-13	1,0E-13	2,1E-05	2,4E-05	5233 - 7680	212 - 461	Salinar	
RE-15-114	575,00 – 615,04	595,02	6700,0	30,8	1198,2	Doppelpackertest	1,1E-12	2,5E-12	2,8E-14	6,4E-14	2,1E-05	2,8E-05	5482 - 5496	197 - 199	Salinar	
RE-15-115	605,00 – 645,04	625,02	7200,0	31,4	1198,0	Doppelpackertest	3,4E-12	3,6E-11	8,4E-14	9,0E-13	2,1E-05	2,5E-05	6402 - 6423	261 - 263	Salinar	
RE-15-116	679,50 – 719,54	699,52	8400,0	33,0	1197,5	Doppelpackertest	4,1E-12	4,1E-12	1,0E-13	1,0E-13	2,1E-05	4,0E-05	7186 - 11600	267 - 717	Salinar	
RE-15-117	720,00 – 760,04	740,02	8570,0	33,8	1197,1	Doppelpackertest	2,2E-12	3,7E-12	5,5E-14	9,3E-14	2,0E-05	5,5E-05	7738 - 12055	282 - 722	Salinar	
RE-15-118	780,00 – 889,60	839,80	9662,4	35,0	1198,8	Einfachpackertest	4,8E-12	1,2E-10	4,0E-14	9,8E-13	4,3E-04	1,1E-03	8193 - 10285	277 - 490	Salinar	

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 53 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Im Unteren Muschelkalk (mu) wurden die hydraulischen Gebirgseigenschaften aufgrund von starken Spülungsverlusten im oberen Bohrabschnitt und einer Zementation zwischen 48,2 mT und 53,4 mT erst zwischen 78 m und 134,6 m untersucht. Zwischen 48,4 mT und 50,5 mT wurden anhand der ABF-Aufzeichnungen von der Fa. Terratec mehrere weit geöffnete Klüfte bestimmt (Tabelle 3). Die ARGE geht davon aus, dass eine Abdichtung der Bohrlochwand mit Hilfe der Spülungszusätze in diesem Abschnitt nicht erreicht wurde und die Spülung aufgrund der höheren Dichte und des erhöhten Spülungsdruckes im Vergleich zum Gebirgswasserdruck in das stark klüftige Gebirge abgeflossen ist.

Der gesamte Abschnitt (i2b) wurde mit einem Einfachpacker und 2 Teilabschnitte (i2a und i3) mit einem Doppelpacker getestet. Die Frischwasser-Druckhöhen dieser Abschnitte entsprechen näherungsweise dem Gebirgswasserspiegel +178 mNN (ca. 38 m unter GOK). Die Transmissivitäten dieser 3 Testbereiche unterscheiden sich aber erheblich. Das Verhältnis der „best fit“ Werte (nach Solexperts /10/) ergibt etwa:

$$i2a : i2b : i3 \sim 30 : 3 : 1$$

Das Verhältnis der „worst case“ Werte (nach Solexperts /10/) beträgt:

$$i2a : i2b : i3 \sim 10 : 9 : 1$$

Diese recht großen relativen Unterschiede der Durchlässigkeit spiegeln die Wechsellagerung von klüftigen Kalksteinen und Mergelsteinen wider. Darüber hinaus ist auch im Bereich von tektonischen Störungen (vermutlich bei 80 und 86 mT innerhalb Abschnitt i2a und i2b sowie etwa am Ende von Abschnitt i2b bei ca. 134 m) mit lokal erhöhter Transmissivität und entsprechend großen Gebirgswasserzuflüssen zu rechnen. Die Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit von rd 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf rd 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  im Teufenabschnitt von ca. 80 mT bis ca. 100 mT weist auf einen deutlich erhöhten Lösungsinhalt des Wassers hin. Es lässt sich hierbei nicht zweifelsfrei ableiten, ob es sich um einen Wasserzufluss über offene Klüfte oder eine vorhandene Störung bzw. um eine natürliche Schichtung von Gebirgswässern unterschiedlicher Dichten handelt.

Aufgrund der einheitlichen Druckspiegelhöhen kann davon ausgegangen werden, dass der Untere Muschelkalk ein kommunizierendes, komplexes hydraulisches System darstellt.

Solexperts weist in seinem Abschlussbericht auf folgende Unsicherheiten hin:

- *Unterschiede der Transmissivität in sich überlappenden Abschnitten sind auf die komplizierten Fließverhältnisse der Formation zurückzuführen, die von den hydraulischen Modellen nicht genau wiedergegeben werden können.*
- *Aufgrund der langen Testabschnitte in der Bohrung im Vergleich zu offenen Klüften und Störungen kann die Durchlässigkeit entsprechender Strukturen größer sein.*

Im Oberen Buntsandstein (so) wurden die hydraulischen Gebirgseigenschaften zwischen 151,0 m und 357,3 m untersucht. Die Transmissivität (best fit) der Abschnitte i4 und i7 im Vergleich zu den Abschnitten i5 und i6 ergaben eine um 2 bis 3 Zehnerpotenzen höhere Durchlässigkeit.

Die berechneten Frischwasser-Druckhöhen liegen zwischen 171 mNN und 192,5 mNN. Bezogen auf den freien Gebirgswasserspiegel bei +178 mNN sind die Druckdifferenzen  $\Delta p$  mit 7 bis 14 m Wassersäule relativ gering. Die größten Abweichungen wurden in den sehr gering durchlässigen (praktisch undurchlässigen) Abschnitten i5 und i6 bestimmt.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 54 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Der Abschnitt i4, der die Testintervalle i5 und i6 umfasst, und i7 im Liegenden dieser Testabschnitte weichen mit Druckdifferenzen  $\Delta p$  von etwa 5 bis 7 m Wassersäule (absolut) nur unwesentlich von dem freien Wasserspiegel ab. Wahrscheinlich handelt es sich auch im Buntsandstein um ein kommunizierendes hydraulisches System, das lokal durch praktisch undurchlässige Gebirgseinheiten unterbrochen ist.

Nach Versuchsende im Testabschnitt i7 verstürzte das Bohrloch und das Packersystem blockierte. In diesem Gebirgsabschnitt stehen Gebirgsschichten aus Schluffstein und tonigem Schluffstein mit geringen einaxialen Druckfestigkeiten und etwas erhöhten Porenwassergehalten an.

Der Gebirgsbereich zwischen 357 mT und dem „Hutgestein“ sollte anhand des Testabschnittes i8 mit Einbeziehung des Abschnittes i7 untersucht werden. Aufgrund der geringen Standfestigkeit des Bohrloches wurde der geplante Durchlässigkeitsversuch jedoch nicht durchgeführt. Daher fehlen hydraulische Untersuchungen im Teufenbereich zwischen ca. 357 m und ca. 409 m.

Der Übergangsbereich vom Oberen Buntsandstein zum Salinar wurde in den Abschnitten i9 bis i11 zwischen 409 mT und ca. 450 mT hydraulisch untersucht. Insgesamt sind die ermittelten Durchlässigkeiten als sehr gering zu bezeichnen (Abbildung 19). Vom oberen „Hutgestein“ (i9) zum Kontaktbereich mit dem Salinar wurde eine Zunahme der Durchlässigkeit um mehr als 2 Zehnerpotenzen festgestellt. Als mögliche Ursache wird von der Fa. Solexperts eine stärkere Erosion und Ablaugung angenommen /10/.

Die berechneten Frischwasser-Druckhöhen im „Hutgestein“ werden mit 164 bis 209 m NN (best fit und max. Werte) angegeben und nehmen zum Salinar hin ab. Im „Hutgestein“ wurden vom IfG Leipzig die höchsten Wassergehalte im Gestein (im Mittel rd. 14 %) bestimmt (Tabelle 8). Dieses Wasser ist vermutlich in den Residualtonen mit einem erhöhten Anteil an Montmorillonit gebunden.

Im Salinar wurden Pulse-Entnahme Tests und Pulse-Injektion Tests im Bereich der angeschnittenen Anhydrit-Lagen und -bänke (Testabschnitte i12 bis i18) von der Fa. Solexperts durchgeführt /10/. Die Transmissivitäten liegen zwischen  $1,1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  und  $4,8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  (best fit). Die Streuung der Werte ist im Vergleich zu den übrigen Gebirgseinheiten relativ gering. Obwohl in den Anhydriten die höchsten Durchlässigkeiten innerhalb der von der Bohrung Remlingen 15 aufgeschlossenen Schichtenfolge zu erwarten ist, sind die hier ermittelten Durchlässigkeiten als praktisch undurchlässig zu bezeichnen. Die Frischwasser-Druckhöhen wurden aufgrund der extrem geringen Durchlässigkeit und infolgedessen sehr langen Versuchszeiten theoretisch berechnet. Die Ergebnisse der Frischwasser-Druckhöhen streuen zwischen 157 mNN und rd. 280 mNN, sind lt. der Fa. Solexperts unsicher /10/ und haben für das Schachtprojekt keine Bedeutung.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 55 von 94
NAAN	NNNNNNNN	<del>AAA</del>	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

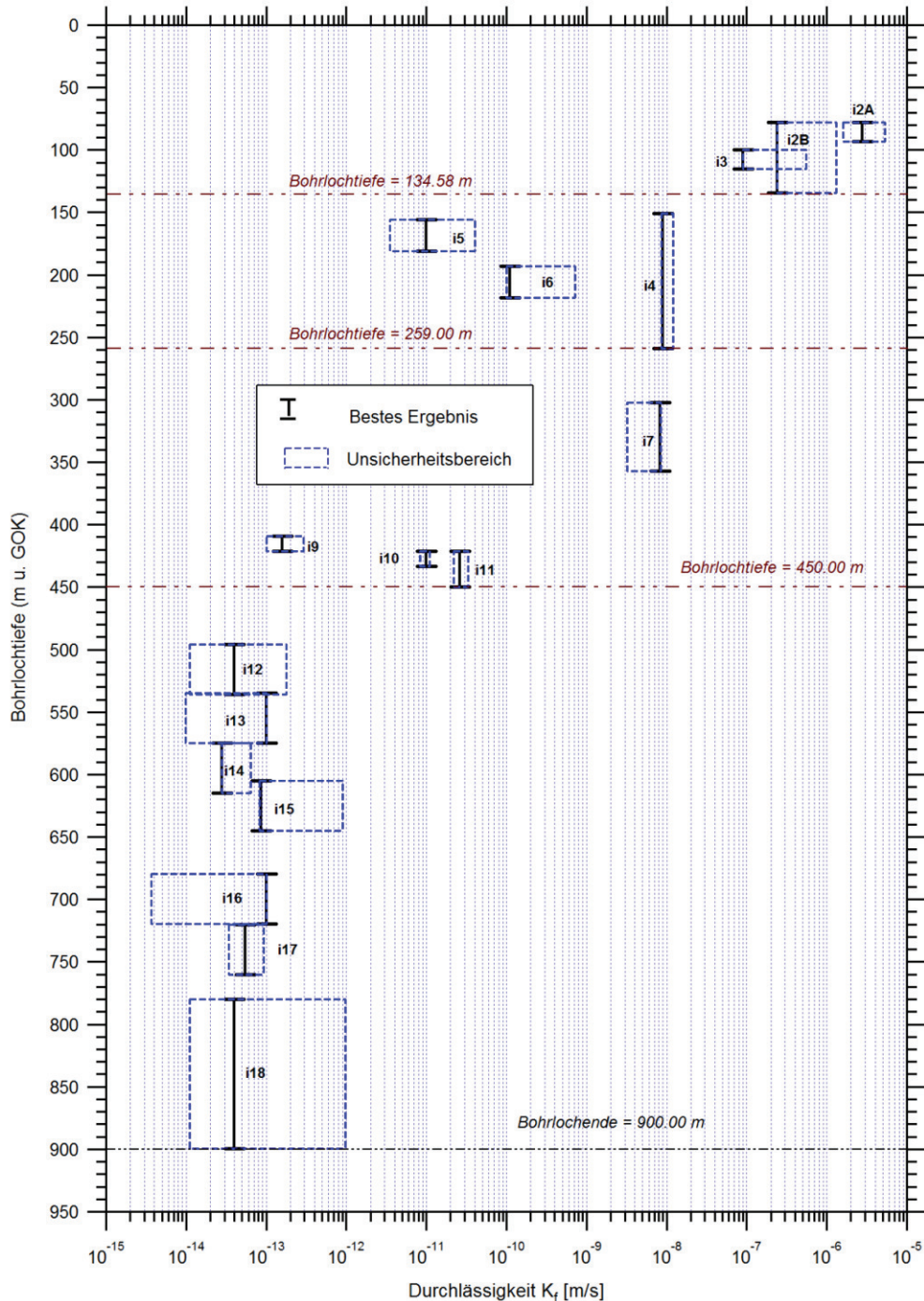


Abbildung 19: Ergebnisse der Durchlässigkeits-Untersuchungen in der Bohrung Remlingen 15 /10/



**Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht**  
**Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15**

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 56 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 05.04.2018
9A	23440000	GA	RB	0002	00		

Nach DIN 18130 Teil 1 (Mai 1998) /27/ sind die Durchlässigkeitsbereiche wie folgt klassifiziert (Tabelle 13).

**Tabelle 13: Klassen der Durchlässigkeit**

K m/s	Bereich
unter $10^{-8}$	sehr schwach durchlässig
$10^{-8}$ bis $10^{-6}$	schwach durchlässig
über $10^{-6}$ bis $10^{-4}$	durchlässig
über $10^{-4}$ bis $10^{-2}$	stark durchlässig
über $10^{-2}$	sehr stark durchlässig

## 6.2 Prognose der Gebirgswasser-Zuflüsse zum geplanten Schacht Asse 5

### Einführung

Zur Klassifizierung der Wasserzutritte aus dem Gebirge wurde die Einteilung nach der Klassifizierung des Rock Mass Ratings (RMR) von Bieniawski /19/ in einer modifizierten Art verwendet. Anstelle eines Tunnelabschnittes von 10 m horizontaler Länge wurde für den geplanten Schacht Asse 5 eine angenommene Abschlagslänge von  $\Delta T = 2$  m vertikaler Länge als Wasserzutrittsbereich gewählt. Die Wasserzutritte in den einzelnen Klassen wurden von 10 m auf 2 m Länge umgerechnet (Tabelle 14).

**Tabelle 14: Klassifizierung der Wasserzuflüsse bei gleichmäßigem Zutritt über die gesamte Gebirgsoberfläche**

Lfd Nr.	Bezeichnung	Zuflussmenge		
		(l/min) x 10 m	(l/min) x 1 m	(m <sup>3</sup> /h) x 2 m
1	Trocken	0	0	0
2	Feucht	<10	<1	<0,12
3	Nass	10 - 25	1 – 2,5	0,12 – 0,3
4	Tropfend	25 - 125	2,5 – 12,5	0,3 – 1,5
5	fließend	>125	>12,5	>1,5

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 57 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Als Fließen werden danach über die gesamte Oberfläche gleichmäßig zutretende Gebirgswasserzuflüsse von über 1,5 m<sup>3</sup>/h bezogen auf einen Schachtabschnitt von 2 m bezeichnet. Die abschnittsweise mit Doppelpackern und z.T. mit Einzelpackern untersuchten Gebirgswasser im Deckgebirge von der Fa. Solexperts /10/ haben ergeben, dass die zur Vergleichbarkeit umgerechneten Formationsdrücke in Frischwasser-Druckhöhen um die mittlere Druckwasserspiegelhöhe von etwa 178 mNN (rd. 38 m unter Gelände) schwanken (vergl. Abbildung 20). Daher wird für das Deckgebirge ein kommunizierendes, hydraulisches System angenommen, das lokal durch mehr oder weniger wasserstauende Gebirgsschichten (Gebirgsblöcke?) gestört bzw. unterbrochen ist. Auf die allgemein komplexe Gebirgsstruktur am geplanten Schachtstandort anhand der Bohrung Remlingen 15 wurde bereits im Kapitel 3.1 eingegangen.

Aufgrund der sehr geringen Durchlässigkeit im oberen Abschnitt des „Hutgesteins“ (im Kontakt zum Oberen Buntsandstein mit  $k_f = 1,6 - 2,9 \times 10^{-13}$  m/s und im Kontakt zum Salinar mit  $k_f = 2,6 - 3,3 \times 10^{-11}$  m/s) kann das „Hutgestein“ hier als Grundwasserstauer (Grundwasser-Nichtleiter) bezeichnet werden. Entsprechendes gilt vor allem für das Salinar mit Durchlässigkeiten von  $k_f = 10^{-13} - 10^{-14}$  m/s.

Nach den hydraulischen Versuchsergebnissen und Auswertungen der Fa. Solexperts ist während der Teufphase nur im Deckgebirge ( $\mu$  und  $\sigma$ ) von relevanten Gebirgswasserzuflüssen des geplanten Schachtes Asse 5 auszugehen. Zu berücksichtigen ist, dass der Schachtdurchmesser mit einem geschätzten Außendurchmesser  $DA$  von ca. 10 m im Vergleich zu dem Bohrlochdurchmesser von rd. 15 cm ein deutlich größeres Gebirgsvolumen erfasst, so dass hier auch aufgrund der steilen Schichtlagerung Unsicherheiten bzgl. der Gebirgswasser-Zuflussmengen bestehen.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 58 von 94
NAAN	NNNNNNNN	<del>AAA</del>	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

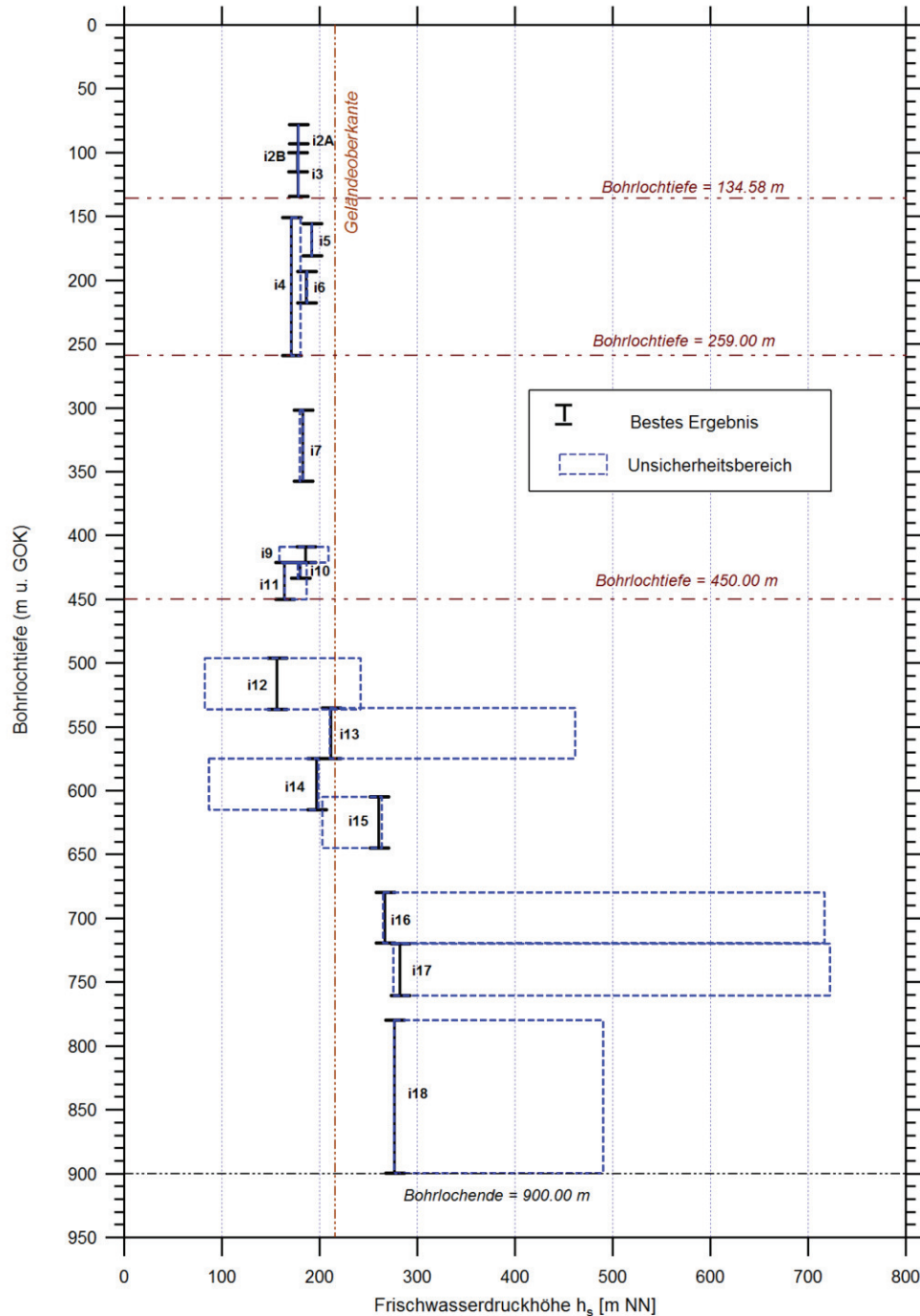


Abbildung 20: Ergebnisse der Frischwasserdruckhöhen in der Bohrung Remlingen 15 /10/

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 59 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Prognose der Grundwasserzuflüsse zum geplanten Schacht Asse 5

Nachfolgend wird für die Versuchsabschnitte i2 bis i7 im Deckgebirge eine Prognose der Gebirgswasserzuflüsse zum geplanten Schacht Asse 5 erstellt (i1 wurde wegen großer Umläufigkeiten nicht ausgewertet!).

Die ARGE Schacht Asse 5 weist darauf hin, dass die prognostizierten Wasserzuflüsse zum Schacht aufgrund des stark inhomogenen und anisotropen Gebirgsaufbaus mit den zur Verfügung stehenden Berechnungsmethoden für homogene und isotrope Grundwasserleiter nur überschlägig ermittelt werden können und systembedingt mit größeren Unsicherheiten behaftet sind.

Den Berechnungen liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- Die Gebirgsässer im Deckgebirge stellen ein kommunizierendes hydraulisches System dar.
- Die Druckwasserspiegelhöhe liegt etwa bei 178 mNN.
- Der Grundwasserleiter hat näherungsweise eine unbegrenzte Ausdehnung.
- Die Abschlagslänge pro Tag beträgt rd. 2 m/d.
- Die Schachtwand bis 2 m über der temporären Teufsohle ist nahezu dicht (z.B. durch eine Gebirgsvergütung mit Injektionsmitteln oder durch einen ausreichend tragfähigen Ausbau).
- Der Grundwasserzufluss ist instationär und wird mit der Brunnengleichung von Charles Theis /26/ hinreichend genau widergegeben.

Die Brunnengleichung nach Theis, umgestellt nach der Zuflussmenge Q, lautet:

$$Q = 4 \cdot \pi \cdot s \cdot k_f \cdot M / W(u)$$

Mit

$$W(u) = 0,5772 - \ln u + u - (u^2 / (2 \cdot 2!)) + (u^3 / (3 \cdot 3!)) - (u^4 / (4 \cdot 4!)) + \dots$$

$$u = r^2 \cdot S / (4 \cdot k_f \cdot M \cdot t)$$

Darin bedeuten

s:	Absenkung der Grundwasserdruckfläche	[m]
r:	radialer Abstand der Absenkung s bezogen auf die Schachtachse	[m]
k <sub>f</sub> :	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]
M:	Eintrittsmächtigkeit	[m]
S:	Speicherkoeffizient	[--]
t:	Zuflussdauer	[d]

Da Wasserzuflüsse über längere Zeit in Abhängigkeit von Fließgeschwindigkeit, Zuflussmenge und Chemismus zu Erosionen innerhalb des Gebirgstringringes führen, wird angenommen, dass die Zuflüsse nach einem neuen Abschlag von 2 m Schachtteufe und einer Standzeit von einem Tag durch eine ausreichende Abdichtung des Gebirgstringringes gestoppt werden. Die Grundwasserabsenkung am Hohlraumrand folgt dem Teuffortschritt und wird nach jedem Abschlag bis 2 m über der temporären Teufsohle angenommen.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 60 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

In der folgenden Tabelle 15 sind die prognostizierten Zuflussmengen nach jeweils 2 m Abschlag angegeben. Für die Zufluss-Volumina „best fit“ wurden die optimierten hydraulischen Parameter, für die Zuflussmengen „worst case“ die maximalen hydraulischen Parameter nach den Untersuchungsergebnissen der Fa. Solexperts /10/ verwendet. In jeder der 4 Spalten mit den Ergebnissen der prognostizierten Gebirgswasser-Zuflüsse sind 2 Zuflusswerte angegeben. Der erste Wert bezieht sich auf die Anfangsteufe, der zweite Wert auf die Endteufe des jeweiligen Testabschnittes.

Der Versuchsabschnitt i1 konnte aufgrund zu großer Umläufigkeiten nicht ausgewertet werden. Aufgrund der stärkeren Verwitterung und Auflockerung sind hier ähnlich hohe oder größere Zuflüsse wie im Abschnitt i2 nicht auszuschließen.

**Tabelle 15: Prognose der Wasserzuflüsse zum geplanten Schacht mit einem Außendurchmesser von DA = 10 m (Zufluss-Prognose ist pro Stunde und pro Tag errechnet)**

<b>Annahmen</b> Schachtradius: 5 m Teuffortschritt: 2 m/d Abdichtung bis: 2 m oberhalb der temporären Teufsohle											
Abschnitt	Teufe		Durchlässigkeit kf		Speicherkoeffizient		Zufluss-Prognose 1) best fit		Zufluss-Prognose 1) worst case		Bemerkungen
	von [m]	bis [m]	best fit [m/s]	worse case [m/s]	best fit [---]	worse case [---]	[m³/h] * 2m	[m³/d] * 2m	[m³/h] * 2m	[m³/d] * 2m	
i1	52,00	67,06					?	?	?	?	große Umläufigkeiten
i2a	78,00	93,06	2,90E-06	5,30E-06	7,50E-06	2,78E-03	2,4 - 3,4	58 - 81	11 - 15	247 - 345	
i2b	78,00	134,58	2,40E-07	1,30E-06	5,66E-04	5,66E-04	3,4 -> 1,4	81 -> 33	15 -> 5	345 -> 125	
i3	100,00	115,06	9,00E-08	5,50E-07	2,74E-04	3,34E-04	0,5 - 0,6	11 - 14	2 - 2,5	41 - 52	
i4	151,00	259,00	9,00E-09	1,20E-08	1,08E-05	1,52E-05	0,1 - 0,2	1,5 - 3	0,1 - 0,2	2 - 4	
i5	156,00	181,05	1,00E-11	4,00E-11	5,16E-04	5,26E-04	0	0	0	0	
i6	193,00	218,05	1,10E-10	7,20E-10	2,90E-06	5,96E-05	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	5 - 6	
i7	302,00	357,27	8,20E-09	8,40E-09	2,62E-05	3,08E-05	0,2 - 0,3	4,5 - 5,5	0,2 - 0,3	5 - 6	Bohrloch verstimmt
i8	nach Versuchsende im Abschnitt i7 Bohrloch verstimmt, Versuche im Abschnitt i8 aufgegeben!										
i9	409,00	421,23	1,60E-13	2,90E-13	9,40E-06	1,31E-05	0	0	0	0	
i10	421,30	433,53	1,00E-11	1,10E-11	9,39E-06	1,22E-05	0	0	0	0	
i11	421,30	450,00	2,60E-11	3,30E-11	3,70E-06	5,74E-06	0	0	0	0	

1) Zufluss-Prognose nach THEIS

Im Bereich der Wechsellagerung aus Kalksteinen und Mergelsteinen des Unteren Muschelkalks (mu) wurden die größten Gebirgswasserzuflüsse (bis etwa 345 m³/d) berechnet. Für die vorwiegend aus Schluffsteinen und tonigen Schluffsteinen bestehende Schichtenfolge des Oberen Buntsandsteins mit einer gegenüber dem Muschelkalk deutlich geringeren Trennflächenhäufigkeit wurden für das worst case Szenario Zufluss-Volumina von bis zu 6 m³/d berechnet.

Sofern das Deckgebirge nicht im Voraus vor Zutritt der Gebirgsässer in den Schacht abgedichtet wird, ist mit größeren Erosionen und Schwierigkeiten bei den Abdichtungsmaßnahmen vor Ort zu rechnen. Dies gilt insbesondere für die Schichtenfolge des Unteren Muschelkalks.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 61 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### 6.3 Chemismus, Alter und Aggressivität der untersuchten Gebirgs- wässer in der Bohrung Remlingen 15

In diesem Kapitel wird nur auf die für den geplanten Schacht relevanten chemischen Bestandteile und Eigenschaften der Gebirgswässer Bezug genommen. Eine ausführliche Zusammenfassung enthält der geologische Bericht der Fa. K-UTEC /5/ sowie der Bericht der Fa. Solexperts /10/.

Die Ergebnisse beziehen sich auf 4 Teufenintervalle, jeweils 2 innerhalb des Muschelkalks und des Buntsandsteins (Tabelle 16). Die Probe mit der Bezeichnung RE-15 i6 aus dem Buntsandstein wurde durch die Bohrspülung erheblich verändert (geringe elektrische Leitfähigkeit, hoher pH-Wert) und wird hier nicht berücksichtigt.

**Tabelle 16: Relevante chemische Bestandteile und Eigenschaften, Alter und Typ der Grundwässer**

Formation	Bohrungs-Abschnitt		Dichte	el. LF	pH	Cl	SO <sub>4</sub>	H <sup>3</sup>	Alter des Gebirgswassers	Grundwassertyp	Bemerkungen
	[---]	[m]	[g/cm <sup>3</sup> ]	μS/cm	[---]	[mg/l]	[mg/l]	[TU]			
Unterer Muschelkalk	RE-15 i2	78 - 135	1,0012	1203	7,79	152	59,8	5,2	mittlere Verweilzeit 15 - 20 Jahre (junge Komponente) Alter < 5000 Jahre	Ca - Na - HCO <sub>3</sub> - Cl Wasser	Formationswasser
Unterer Muschelkalk	RE-15 i3	100 - 115	1,0009	987	7,65	47,6	162	1,8	mittlere Verweilzeit 12 - 25 Jahre (junge Komponente) Alter 5000 - 10000 Jahre	Ca - Mg - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub> Wasser	Formationswasser
Oberer Buntsandstein	RE-15 i6	193 - 218	1,0013	536	10,6 **)	47,6	61,3	4,6	starke Beeinflussung durch Fremdwasser keine Alterseinstufung	Na - Ca - CO <sub>3</sub> - Cl - SO <sub>4</sub> Wasser	Mischwasser
Oberer Buntsandstein	RE-15 i7	302 - 357	1,0012 *)	12500	7,34	3400	1760	2,7	Fremdwasser beeinflusstes Mischwasser, hohe Verweilzeit, keine belastbare Altersangabe möglich	Na - Ca - Cl - SO <sub>4</sub> Wasser	Mischwasser aus jungem und altem Formationswasser

\*) Dichte für die hohe Mineralisation (CL = 3400 mg/l und SO<sub>4</sub> = 1760 mg/l) zu gering!  
\*\*) Vermutlich überwiegend Spülung?

Die elektrische Leitfähigkeit der Probe RE-15 i7 weist auf deutlich höhere Mineralkonzentrationen der Kationen und Anionen im Buntsandstein im Vergleich zum Muschelkalk hin. Dies wird u.a. durch die Konzentrationen an Chlorid und Sulfat bestätigt. Alle 3 Wasserproben setzen sich aus einer jungen und alten Gebirgswasser-Komponente zusammen. Nur für die Wasserproben aus der Muschelkalk Formation wurden Altersangaben gemacht. Die Verweilzeiten der jungen Komponente beträgt danach 12 bis 25 Jahre, die der alten Komponente zwischen 5.000 und 10.000 Jahre.

Die Sulfat-Konzentration der Probe RE-15 i7 mit 1760 mg/l wirkt im Kontakt mit Beton aggressiv und ist nach den Expositionsclassen in die Klasse XA2 (mäßig angreifend) einzustufen (Tabelle 17). Eine Sulfatbeständigkeit des Betons ist für den Ausbau des geplanten Schachtes erforderlich.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 62 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

**Tabelle 17: Expositionsclassen: Grenzwerte bei chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwässer <sup>1) 2)</sup>**

Chemisches Merkmal	XA1 (schwach angreifend)	XA2 (mäßig angreifend)	XA3 (stark angreifend)
Grundwasser			
pH-Wert	6,5...5,5	< 5,5...4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
kalklösende Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) [mg/l]	15...40	> 40...100	> 100 bis zur Sättigung
Ammonium <sup>3)</sup> (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) [mg/l]	15...30	> 30...60	> 60...100
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> ) [mg/l]	300...1 000	> 1 000...3 000	> 3 000 bis zur Sättigung
Sulfat <sup>4)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) [mg/l]	200...600	> 600...3 000	> 3 000 und ≤ 6 000
Boden			
Sulfat <sup>5)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) [mg/kg] insgesamt	2 000...3 000 <sup>6)</sup>	> 3 000 <sup>6)</sup> ...12 000	> 12 000 und ≤ 24 000
Säuregrad	> 200 Bauman-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

<sup>1)</sup> Werte gültig für Wassertemperatur zwischen 5 °C und 25 °C sowie bei sehr geringer Fließgeschwindigkeit (näherungsweise wie für hydrostatische Bedingungen).

<sup>2)</sup> Der schärfste Wert für jedes einzelne Merkmal ist maßgebend. Liegen zwei oder mehrere angreifende Merkmale in derselben Klasse, davon mindestens eines im oberen Viertel (bei pH im unteren Viertel), ist die Umgebung der nächsthöheren Klasse zuzuordnen. Ausnahme: Nachweis über eine spezielle Studie, dass dies nicht erforderlich ist.

<sup>3)</sup> Gülle darf, unabhängig vom NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Gehalt, in Expositionsklasse XA1 eingeordnet werden.

<sup>4)</sup> Sulfatgehalte oberhalb 600 mg/l sind im Rahmen der Festlegung des Betons anzugeben. Bei chemischen Angriffen durch Sulfat (ausgenommen bei Meerwasser) für Expositionsklasse XA2 und XA3 Zement mit hohem Sulfatwiderstand (SR-Zement) erforderlich. Für SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ≤ 1 500 mg/l anstelle SR-Zement eine Mischung aus Zement und Flugasche zulässig.

<sup>5)</sup> Tonböden mit einer Durchlässigkeit ≤ 10<sup>-5</sup> m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.

<sup>6)</sup> Falls die Gefahr der Anhäufung von Sulfationen im Boden – zurückzuführen auf wechselndes Trocknen und Durchfeuchten oder kapillares Saugen – besteht, ist der Grenzwert von 3 000 mg/kg auf 2 000 mg/kg zu vermindern.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 63 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### 7 Festlegung von Homogenabschnitten für den Schacht

Die Tabelle im Anhang 1 gibt einen Überblick über alle wesentlichen, schachtbautechnisch relevanten Gebirgsparameter und Daten, die bei den geologisch-tektonischen, geophysikalischen und geotechnischen Untersuchungen vor Ort und im Labor ermittelt und dokumentiert wurden /5/, /7/, /8/, /9/, /10/, /11/, /12/, /13/, /14/, /19/, /16/, /17/, /18/, /19/.

Insgesamt wurde das Gebirge der Bohrung Remlingen 15 in 7 Gebirgseinheiten (Spalte 4 – „Gebirgseinheit“), in denen sich eine oder mehrere Kenngrößen gegenüber den angrenzenden Abschnitten mehr oder weniger deutlich unterscheiden. Die ARGE definiert diese 7 Gebirgseinheiten als Homogenbereiche. Jeder Homogenbereich ist durch einen charakteristischen Gesteinswechsel (z.B. Kalksteine und Mergel des Unteren Muschelkalks zu Sandsteinen, Schluff- und tonigen Schluffsteinen des Oberen Buntsandsteins) oder durch eine Störungszone (nachgewiesen oder prognostiziert) begrenzt (Ausnahmen sind die Tagesoberfläche und die Endteufe der Bohrung).

Die Werte der Parameter in der Tabelle im Anhang 1 beziehen sich auf den gesamten Gebirgsabschnitt, sofern keine Angaben zur Bezugsteufe vorliegen. Trends (z.B. Richtungsänderungen (Spalte 6 – „Einfallrichtung“), Werte zunehmend / abnehmend (Spalte 11 – „Nachbruch im Bohrloch“)) werden durch Pfeile angezeigt.

Die Abschnitte, in denen Störungen im geplanten Schacht mit einem Außendurchmesser von DA = 10 m angeschnitten werden, sind im Schachtprofil (Anhang 1, Spalte 12 – „Schacht (projektiert)“) skizziert (Details siehe Tabelle 4). In gleicher Weise wurden die im Schacht angeschnittenen Anhydritbänke des Salinars im Profil dargestellt. In den Homogenbereichen I und II ergeben sich hierdurch größere Teufabschnitte mit Störungen im Schacht. Entsprechendes gilt auch für die Anhydritbänke im Homogenbereich VII. Es handelt sich hierbei um markante Inhomogenitäten innerhalb der Homogenbereiche, die bautechnisch gesondert zu berücksichtigen sind.

Nachfolgend werden die signifikanten Unterschiede der Gebirgseigenschaften am Standort der Bohrung Remlingen 15 beschrieben, die zur Festlegung der einzelnen Homogenbereiche geführt haben und diese charakterisieren.

#### Homogenbereich I (0 bis 53 mT, Tabelle 18)

Das Gebirge besteht aus einer Wechsellagerung aus Kalkstein, Kalk- und Tonmergel und ist durch 2 Störungen tektonisch stark beansprucht. Der in situ ermittelte Elastizitätsmodul und Verformungsmodul sind sehr gering. Mindestens 2 Klüfte mit Öffnungsweiten von 3 und 12 cm geben Hinweise auf große Auflockerungen des Gebirgsverbandes. Beim Erstellen der Erkundungsbohrung kam es zu einem vollständigen Spülungsverlust. Hydrogeologische Untersuchungen zur Bestimmung der hydraulischen Parameter mussten in diesem Teufenabschnitt wegen starker Umläufigkeiten aufgegeben werden. Die hydrogeologische Situation ist hier nicht endgültig geklärt und erfordert ggf. zusätzliche Untersuchungen.

Die Standfestigkeit des Gebirges wird häufig wechselnd zwischen temporär standfest und nicht standfest eingeschätzt (Abbildung 16).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 64 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

**Tabelle 18: Homogenabschnitt I**

Zusammenfassung der Schichtenfolge mit ähnlichen Gebirgseigenschaften zu Homogenabschnitten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 Teufenbereich 0 bis 53 m		
Homogen- abschnitt	Einflussgröße	Beschreibung
<b>I</b>	Begrenzung des Abschnittes im Hangenden	Tagesoberfläche
	im Liegenden	Stratigraphische Grenze mm/ mu verbunden mit einer geol. Störung
	Schichtenfolge	Wechselagerung Kalkstein, Ka mmergelstein mit Tonmergel (plastisch)
	Schichteinfallen	41° - 69° / WSW - SE zur Teufe abnehmend
	Entfestigung und Auflockerung des Gebirges	Gebirge stark aufgelockert, z.T. verbunden mit einem vollständigen Spülverlust
	Geologische Störungen	bei 27- 28 m, 47-49 m, 52-53 m
	Öffnungsweiten von Klüften	2 Klüfte zeigen Öffnungsweiten von 3 bzw. 12 cm (nach Auswertungen von ABF-Aufnahmen (Fa. TerraTec)
	Elastizitätsmodul (statisch)	160 bis 240 MPa (sehr gering)
	Verformungsmodul (statisch)	150 bis 180 MPa (sehr gering)
	Elastizitätsmodul (dynamisch)	14.000 - 45.500MPa
	Schermodul (dynamisch)	2.000 - 20.000 MPa
	Querdehnung (Poissonzahl)	0,13 bis 0,35 [ --- ] (stark streuend)
	Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung R15	überwiegend nicht standfest, stellenweise temporär standfest
	Hydrogeologische Werte	<b>keine Ergebnisse aufgrund starker Umläufigkeiten!</b>
	Gebirgsdurchlässigkeiten	----
Frischwasserdruckhöhen	----	
Prognose der Wasserzuflussmengen (je 2 m Abschlagslänge)	----	

### Homogenbereich II (53 bis 131 mT, Tabelle 19)

Das Gebirge besteht aus einer Wechselagerung aus Kalkstein und Kalkmergelstein mit Tonmergel und ist durch bis zu 3 Störungen (2 Störungen davon konnten nicht gesichert nachgewiesen werden) ebenfalls tektonisch hoch beansprucht. Das Gebirge ist stark aufgelockert, jedoch waren die Öffnungsweiten der Klüfte gegenüber dem Homogenbereich I mit maximal 2 bis 3 cm geringer. Ein totaler Spülungsverlust konnte in diesem Abschnitt nicht beobachtet werden.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 65 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

Der Elastizitätsmodul und Verformungsmodul streuen extrem stark. Entsprechendes gilt für die Querdehnung (Poissonzahl).

Nach den hydraulischen Tests ist das Gebirge schwach durchlässig (Klasseneinteilung: Tabelle 13). Nach der Zufluss-Prognose ist in den stärker durchlässigen Abschnitten je 2 m Teuffortschritt mit Gebirgswasser-Zuflussmengen von 58 bis 81 m<sup>3</sup>/ d (best fit) und 247 - 345 m<sup>3</sup>/ d (worst case) zu rechnen.

Die Standfestigkeit des Gebirges wurde mit einem häufigen Wechsel von temporär standfest und nicht standfest eingeschätzt (Abbildung 16).

**Tabelle 19: Homogenabschnitt II**

Zusammenfassung der Schichtenfolge mit ähnlichen Gebirgseigenschaften zu Homogenabschnitten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 Teufenbereich 53 bis 131 m		
Homogen- abschnitt	Einflussgröße	Beschreibung
<b>II</b>	Begrenzung des Abschnittes im Hangenden	geologische Störung
	im Liegenden	geologische Störung und stratigraphischer Wechsel mu / so
	Schichtenfolge	Wechsellagerung Kalkstein, Ka kmmergelstein mit Tonmergel
	Schichteinfallen	12° - 85° / E - SW
	Entfestigung und Auflockerung des Gebirges	Gebirge stark aufgelockert, große Spülverluste von 35 bis 95 m <sup>3</sup>
	Geologische Störungen	bei 80 m (?), 86 m, 95 m (?)
	Öffnungsweiten von Klüften	Öffnungsweiten von 2 bzw. 3 cm (nach Auswertungen von ABF-Aufnahmen (Fa. TerraTec)
	Elastizitätsmodul (statisch)	84 bis 6800 MPa (stark streuend)
	Verformungsmodul (statisch)	72 bis 4270 MPa (stark streuend)
	Elastizitätsmodul (dynamisch)	6.000 - 50.000 (stark streuend)
	Schermodul (dynamisch)	2.000 - 25.000 (stark streuend)
	Querdehnung (Poissonzahl)	0,09 bis 0,40 [ --- ] (stark streuend)
	Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung R15	temporär standfest und nicht standfest, häufig wechselnd
	Hydrogeologische Werte	Testabschnitte I2a (78 - 93 m), I2b (78 - 134 m), I3 (100 - 115 m)
	Gebirgsdurchlässigkeiten	kf = 9,0x10 <sup>-8</sup> bis 5,3x10 <sup>-6</sup> m/ s
	Frischwasserdruckhöhen	Hw ca. 178 m
	Prognose der Wasserzuflussmengen (je 2 m Abschlagslänge)	Q (I2a): 58 bis 81 m <sup>3</sup> /d (best fit) Q (I3): 11 bis 14 m <sup>3</sup> /d (best fit) Q (I2a): 247 bis 345 m <sup>3</sup> /d (worst case) Q (I3): 41 bis 52 m <sup>3</sup> /d (worst case)



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 66 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Homogenbereich III (131 bis 260 mT, Tabelle 20)

Dieser Homogenbereich wird aus einer Wechsellagerung aus Ton- und Schluffstein mit Feinsandsteinlagen und karbonatischen Feinsandsteinbänken aufgebaut und unterscheidet sich hierdurch deutlich von den Homogenbereichen I und II. Die Klüfte sind häufig mit Gips verheilt. Störungen wurden innerhalb dieses Homogenbereiches nicht nachgewiesen. Elastizitätsmodul und Verformungsmodul sind deutlich größer im Vergleich zu den Homogenbereichen I und II, streuen aber ebenfalls erheblich. Entsprechendes gilt für die Querdehnung (Poissonzahl).

Nach den hydraulischen Tests ist das Gebirge schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig (Klasseneinteilung Tabelle 13). Nach der Zufluss-Prognose ist in den stärker durchlässigen Abschnitten je 2 m Teuffortschritt mit Gebirgswasser-Zuflussmengen von 1,5 bis 3 m<sup>3</sup>/d (best fit) und 5 - 6 m<sup>3</sup>/d (worst case) zu rechnen.

Die Standfestigkeit des Gebirges wurde im Teufenbereich 131 bis ca. 150 m mit nicht standfest bis temporär standfest eingeschätzt, im übrigen Homogenbereich mit standfest bis temporär standfest (Abbildung 16). Der Nachbruch im Bohrloch ist mit 0 bis 5 % des Bohrllochdurchmessers im Allgemeinen gering. Jedoch tritt im oberen Teilabschnitt in 139 mT der größte Nachbruchbereich mit einer Bohrlöcherweiterung bis zu 169 % auf. Ursache ist vermutlich der Einfluss der Störung in 131 mT. Diese Störung grenzt die Homogenbereiche II und III voneinander ab und steht mit ihrem Einwirkungsbereich aufgrund des Einfallens auch noch im Homogenbereich III an.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 67 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

**Tabelle 20: Homogenabschnitt III**

Zusammenfassung der Schichtenfolge mit ähnlichen Gebirgseigenschaften zu Homogenabschnitten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 Teufenbereich 131 bis 260 m		
Homogen- abschnitt	Einflussgröße	Beschreibung
<b>III</b>	Begrenzung des Abschnittes im Hangenden im Liegenden	geologische Störung und stratigraphischer Wechsel mu / so 4 m Kernverlust und großer Bohrlochwandausbruch im Bereich des Rohrschuhs (geologische Störung?) Dichtesprung von 2,6-2,7 g/cm <sup>3</sup> auf 2,2- 2,3 g/cm <sup>3</sup>
	Schichtenfolge	Wechsellagerung aus Ton- und Schluffstein mit Feinsandsteinlagen und karbonatischen Feinsandsteinbänken, mit gipsverheilten Klüften
	Schichteinfallen	8° - 68° / WSW -NE (mehrfacher Richtungswechsel)
	Entfestigung und Auflockerung des Gebirges	zahlreiche gipsverheilte Klüfte, keine Spülverluste festgestellt
	Geologische Störungen	(?) nicht nachgewiesen!
	Öffnungsweiten von Klüften	keine Angaben (nach Auswertungen von ABF-Aufnahmen (Fa. TerraTec)
	Elastizitätsmodul (statisch)	6.400 bis 17.800 MPa (stark streuend)
	Verformungsmodul (statisch)	4.200 bis 11.700 MPa (stark streuend)
	Elastizitätsmodul (dynamisch)	6.200 - 17.900 MPa (stark streuend)
	Schermodul (dynamisch)	1.400 - 7.100 MPa (stark streuend)
	Querdehnung (Poissonzahl)	0,04 bis 0,41 [ --- ] (stark streuend)
	Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung R15	standfest und temporär standfest
	Hydrogeologische Werte	Testabschnitte I4 (151 - 259 m), I5 (156 - 181 m), I6 (193 - 218 m)
	Gebirgsdurchlässigkeiten	kf = 1,0x10 <sup>-11</sup> bis 1,2x10 <sup>-8</sup> m/ s
	Frischwasserdruckhöhen	Hw ca. 171 - 193 m
Prognose der Wasserzuflussmengen (je 2 m Abschlagslänge)	Q I4): 1,5 bis 3 m <sup>3</sup> / d (best fit) Q I5): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (best fit) Q I6): 0,1 bis 0,2 m <sup>3</sup> /d (best fit) Q I4): 2 bis 4 m <sup>3</sup> /d (worst case) Q I5): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (worst case) Q I6): 5 bis 6 m <sup>3</sup> /d (worst case)	

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 68 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Als Hinweise für eine Störung im Bereich von etwa 260 mT können folgende Faktoren gesehen werden:

1. Die hydraulischen Tests der Abschnitte I4 und I7 zeigten deutlich erhöhte Durchlässigkeiten. Da die Testabschnitte I5 und I6 nahezu undurchlässig sind, ist eine erhöhte Durchlässigkeit unterhalb des Testabschnittes I6 ( $T > 220$  m) zu vermuten. Deutlich geringere Durchlässigkeiten wurden auch unter dem Testabschnitt I7 nachgewiesen (I9 bis I11) (Abbildung 19).
2. Die Gesteinsdichte weist im Bereich von 260 mT einen Sprung von  $2,6 - 2,7 \text{ g/cm}^3$  auf  $2,1 - 2,3 \text{ g/cm}^3$  auf (Abbildung 11).
3. Auch die relative Standfestigkeit nimmt im Teufenbereich 260 m von 1 bis 2 (standfest bis temporär standfest) auf 3 (nicht standfest) zu (Abbildung 16).

### Homogenbereich IV (260 bis 395 mT, Tabelle 21)

Die Schichtenfolge besteht aus einer Wechsellagerung aus Ton- und Schluffstein und Feinsandstein und ist abschnittsweise tektonisch stark gestört, wobei markante Störungszonen nicht nachgewiesen werden konnten. Aufgrund von Spülungsverlusten von  $1$  bis  $2 \text{ m}^3$  ist von Auflockerungen des Gebirgsverbandes auszugehen. Hierfür spricht auch die geringere mittlere Gesteinsdichte von  $2,20 \text{ g/cm}^3$  im Vergleich zum Homogenbereich III mit  $2,65 \text{ g/cm}^3$  welche bei den geophysikalischen Bohrlochmessungen ermittelt wurden (Spalte 14 – „Gesteinsdichte (Geophysik)“ - in Anhang 1). Die Ergebnisse der Dichte-Untersuchungen im Labor zeigen ebenfalls diese Tendenz, jedoch mit einem geringeren mittleren Dichte-Unterschied (Spalte 13 – „Gesteinsdichte (Laborwerte)“ – in Anhang 1).

Elastizitätsmodul und Verformungsmodul sind deutlich geringer im Vergleich zum Homogenbereich III. Die Werte der Poissonzahl sind generell sehr niedrig im Vergleich zu den anderen Homogenabschnitten. Dies deutet auf steife Gesteine (z.B. Sandstein, Kalkstein etc.) hin, die hier jedoch nur in geringerem Anteil vorhanden sind. Aufgrund der Ausbildung dieses Homogenbereiches mit schluffigen und tonigen Gesteinen sind hier im Allgemeinen höhere Werte der Poissonzahl zu erwarten.

Auf Basis der Ergebnisse der hydraulischen Tests ist das Gebirge als sehr schwach durchlässig (Klasseneinteilung Tabelle 13) zu charakterisieren. Nach der Zufluss-Prognose ist in den stärker durchlässigen Abschnitten je  $2 \text{ m}$  Teuffortschritt mit Gebirgswasser-Zuflussmengen von  $4,5$  bis  $6 \text{ m}^3/\text{d}$  zu rechnen. Die Best fit- und worst case Betrachtung unterscheidet sich hier mit einer Differenz von ca.  $1 \text{ m}^3/\text{d}$  nur unwesentlich.

Die Standfestigkeit des Gebirges wurde überwiegend als häufiger Wechsel zwischen temporär standfest und nicht standfest eingeschätzt. Im Teilabschnitt 340 bis 380 m treten auch kürzere Abschnitte mit standfesten Gebirge auf (Abbildung 16).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 69 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

**Tabelle 21: Homogenabschnitt IV**

Zusammenfassung der Schichtenfolge mit ähnlichen Gebirgseigenschaften zu Homogenabschnitten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 Teufenbereich 260 bis 395 m		
Homogen- abschnitt	Einflussgröße	Beschreibung
<b>IV</b>	Begrenzung des Abschnittes im Hangenden	4 m Kernverlust und großer Bohrlochwandausbruch im Bereich des Rohrschuhs (geologische Störung?) Dichtesprung von 2,6-2,7 g/cm <sup>3</sup> auf 2,2- 2,3 g/cm <sup>3</sup>
	im Liegenden	Gips/ Anhydrit, stark tektonisch überprägt (Hutgestein ?)
	Schichtenfolge	Wechsellagerung aus Tonstein, Schluffstein und Feinsandstein, bereichsweise stark gestört
	Schichteneinfallen	28° - 73° / SW -NE (mehrfacher Richtungswechsel)
	Entfestigung und Auflockerung des Gebirges	Gebirge klüftig, bereichsweise stark gestört, abschnittsweise vermutlich stark aufgelockert, Spülverluste zwischen 1 und 2 m <sup>3</sup> ,
	Geologische Störungen	(?) nicht nachgewiesen!
	Öffnungsweiten von Klüften	keine Angaben (nach Auswertungen von ABF-Aufnahmen (Fa. TerraTec)
	Elastizitätsmodul (statisch)	1.900 bis 2.300 MPa
	Verformungsmodul (statisch)	610 bis 830 MPa
	Elastizitätsmodul (dynamisch)	7.200 - 18.000 MPa
	Schermodul (dynamisch)	3.800 - 8.900 MPa
	Querdehnung (Poissonzahl)	0,0 bis 0,32 [ --- ] (sehr stark streuend)
	Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung R15	temporär standfest und nicht standfest, zwischen 340 und 380 m z.T. standfest
	Hydrogeologische Werte	Testabschnitte I7 (302 - 357 m) die Abschnitte 260 - 302 und 357 - 395 wurden hydraulisch nicht untersucht!
	Gebirgsdurchlässigkeiten	kf = 8,2x10 <sup>-9</sup> bis 8,4x10 <sup>-9</sup> m/ s
Frischwasserdruckhöhen	Hw ca. 183 m	
Prognose der Wasserzuflussmengen (je 2 m Abschlagslänge)	Q (I7): 4,5 bis 5,5 m <sup>3</sup> / d (best fit) Q (I7): 5 bis 6 m <sup>3</sup> /d (worst case)	

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 70 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Homogenbereich V (395 bis 420 mT, Tabelle 22)

Dieser Abschnitt setzt sich aus Gips, Anhydrit mit dünnen Ton und Schluff Zwischenlagen zusammen. Insgesamt ist dieser Abschnitt stark gestört, wobei markante Störungen nicht nachgewiesen werden konnten. Früher entstandene Klüfte und Hohlräume sind mit Ton gefüllt oder mit Gips verheilt.

Elastizitätsmodul und Verformungsmodul sind relativ gering, aber im Vergleich zum Homogenbereich IV tendenziell erhöht. Die Poissonzahl liegt mit  $\nu = 0,19$  bis  $0,37$  im zu erwartenden Erfahrungsbereich.

Nach den hydraulischen Tests mit Durchlässigkeiten um  $10^{-13}$  m/s ist das Gebirge als nahezu dicht zu bezeichnen (Klasseneinteilung Tabelle 13).

Die eingeschätzte Standfestigkeit wechselt im oberen Teilbereich häufig zwischen standfest, temporär standfest und nicht standfest, im unteren Teilbereich zwischen temporär standfest und nicht standfest (Abbildung 16).



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 71 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

**Tabelle 22: Homogenabschnitt V**

Zusammenfassung der Schichtenfolge mit ähnlichen Gebirgseigenschaften zu Homogenabschnitten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 Teufenbereich 395 bis 430 m		
Homogen- abschnitt	Einflussgröße	Beschreibung
<b>V</b>	Begrenzung des Abschnittes im Hangenden im Liegenden	Gips/ Anhydrit, stark tektonisch überprägt (Hutgestein ?) ungeschichteter, stark tektonisch überprägter Anhydrit, Karsthohlraum mit Ton gefüllt (Auslaugungsgebirge)
	Schichtenfolge	Gips/ Anhydrit mit dünnen Ton-/ Schluff-Zwischenlagen
	Schichteinfallen	26° - 64° / NE -NW
	Entfestigung und Auflockerung des Gebirges	Gebirge stark gestört (Hutgestein)
	Geologische Störungen	(?) nicht nachgewiesen!
	Öffnungsweiten von Klüften	verfüllt mit Ton oder verheilt mit Gips
	Elastizitätsmodul (statisch)	2.900 MPa
	Verformungsmodul (statisch)	1.300 MPa
	Elastizitätsmodul (dynamisch)	24.000 - 38.500 MPa
	Schermodul (dynamisch)	9.800 - 17.000 MPa
	Querdehnung (Poissonzahl)	0,19 bis 0,37 [ --- ] (stark streuend)
	Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung R15	standfest, temporär standfest und nicht standfest (häufig wechselnd)
	Hydrogeologische Werte	Testabschnitte I9 (409 - 421 m)
	Gebirgsdurchlässigkeiten	$k_f = 1,6 \times 10^{-13}$ bis $2,9 \times 10^{-13}$ m/ s
	Frischwasserdruckhöhen	Hw ca. 186 - 209 m
	Prognose der Wasserzufflussmengen (je 2 m Abschlagslänge)	Q (I9): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (best fit) Q (I9): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (worst case)

### Homogenbereich VI (420 bis 443 mT, Tabelle 23)

Es handelt sich um einen ungeschichteten, tektonisch stark überprägten Anhydrit mit weichem, plastischem Ton als Füllung von Karsthohlräumen. Etwa 10 % Massenanteil besteht aus Montmorillonit, einem quellfähigen Tonmineral.

Ein statischer Elastizitätsmodul wurde nicht ermittelt. Der statische Verformungsmodul ist mit 11.600 MPa vergleichsweise als hoch zu bewerten. Die Poissonzahl streut stark, was auf die inhomogene Zusammensetzung dieser Schichtenfolge zurückzuführen ist.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite 72 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23440000	GA	RB	0002	00		Stand: 05.04.2018

Nach den Ergebnissen der hydraulischen Tests mit Durchlässigkeiten um  $10^{-11}$  m/s ist das Gebirge als nahezu dicht zu bezeichnen (Klasseneinteilung Tabelle 13).

Das Gebirge wird im oberen Teilabschnitt als temporär standfest bewertet, mit Annäherung an den Salzspiegel ist von einem nicht standfesten Gebirge auszugehen (Abbildung 16).

**Tabelle 23: Homogenabschnitt VI**

Zusammenfassung der Schichtenfolge mit ähnlichen Gebirgeigenschaften zu Homogenabschnitten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 Teufenbereich 430 bis 443 m		
Homogen- abschnitt	Einflussgröße	Beschreibung
<b>VI</b>	Begrenzung des Abschnittes im Hangenden	ungeschichteter, stark tektonisch überprägter Anhydrit, Karsthohlraum mit Ton gefüllt (Auslaugungsgebirge)
	im Liegenden	Salzspiegel
	Schichtenfolge	ungeschichteter, tektonisch stark überprägter Anhydrit mit weichem, plastischem Ton, z.T. als Verfüllung von Hohlräumen, Ton besteht bis zu ca. 10 Ma.% aus Montmorillonit
	Schichteneinfallen	12° - 58° / S - NNE
	Entfestigung und Auflockerung des Gebirges	Gebirge stark gestört (Hutgestein)
	Geologische Störungen	(?) nicht nachgewiesen!
	Öffnungsweiten von Klüften	verfüllt mit Ton
	Elastizitätsmodul (statisch)	----- MPa
	Verformungsmodul (statisch)	11.600 MPa
	Elastizitätsmodul (dynamisch)	5.700 - 43.000 MPa
	Schermodul (dynamisch)	6.300 - 17.000 MPa
	Querdehnung (Poissonzahl)	0,07 bis 0,35 [ --- ] (stark streuend)
	Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung R15	temporär standfest, z.T. nicht standfest mit Annäherung an den Salzspiegel
	Hydrogeologische Werte	Testabschnitte I10 (421 - 433,5 m), I11 (421 - 450 m)
	Gebirgsdurchlässigkeiten	$k_f = 1,0 \times 10^{-11}$ bis $3,3 \times 10^{-11}$ m/s
Frischwasserdruckhöhen	Hw ca. 164 - 180 m	
Prognose der Wasserzuflussmengen (je 2 m Abschlagslänge)	Q (I10): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (best fit) Q (I11): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (best fit)	
	Q (I10): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (worst case) Q (I11): 0 bis 0 m <sup>3</sup> /d (worst case)	

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 73 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Homogenbereich VII (443 bis 899 mT, Tabelle 24)

Das gesamte aufgeschlossene Salinar wurde zum Homogenbereich VII zusammengefasst. Es handelt sich um eine Wechselfolge aus Steinsalz, anhydritischem Steinsalz mit Anhydritlagen und Anhydritbänken. Einfallen und Einfallrichtung wechseln mehrfach von geneigt bis saiger, so dass einzelne Anhydritbänke zur Teufe wiederholt aufgeschlossen werden.

Statische Elastizitätsmoduli und Verformungsmoduli wurden nicht bestimmt. Die Ergebnisse der dynamischen Parameter sind im Vergleich zum Deckgebirge als hoch zu charakterisieren.

Nach den hydraulischen Tests mit Durchlässigkeiten um  $10^{-13}$  m/s ist das Gebirge als nahezu dicht zu bezeichnen (Klasseneinteilung Tabelle 13).

Das Gebirge ist prinzipiell als standfest einzuschätzen. Eine Abschätzung der Kriechverformung für einen idealisierten Schacht mit 8 m Ausbruchdurchmesser ergibt im Steinsalz in ca. 800 m Teufe eine Stoßverschiebung von etwa 15 cm in 100 Jahren. Der Schachtdurchmesser verringert sich hierdurch um etwa 30 cm, was einer Verringerung von ca. 4 % entspricht.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 74 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

**Tabelle 24: Homogenabschnitt VII**

Zusammenfassung der Schichtenfolge mit ähnlichen Gebirgseigenschaften zu Homogenabschnitten in der Erkundungsbohrung Remlingen 15 Teufenbereich 443 bis 899 m		
Homogen- abschnitt	Einflussgröße	Beschreibung
<b>VII</b>	Begrenzung des Abschnittes im Hangenden	Salzspiegel
	im Liegenden	Ende der Bohrung RE 15
	Schichtenfolge	Wechselagerung aus Steinsalz, anhydritischem Steinsalz mit Anhydritlagen und Anhydritbänken
	Schichteneinfallen	21° - 89° / SW - NE (mehrfacher Richtungswechsel)
	Entfestigung und Auflockerung des Gebirges	nein
	Geologische Störungen	nein
	Öffnungsweiten von Klüften	nein
	Elastizitätsmodul (statisch)	----
	Verformungsmodul (statisch)	----
	Elastizitätsmodul (dynamisch)	ca. 35.000 - 40.000 MPa Steinsalz, z.T. anhydritisch
	Schermodul (dynamisch)	ca. 40.000 - 59.000 MPa Anhydrite
	Prognose der relativen Standfestigkeit des Gebirges in der Bohrung R15	Gebirge standfest, Kriechen des Steinsalzes Nach der Prognose Kriechkonvergenz ca. 30 cm in 100 Jahren
	Kriechverformung (Prognose) für den geplanten Schacht Asse 5 mit einem Ausbruchdurchmesser von DA = 10 m	Kriechkonvergenz ca. 30 cm in 100 Jahren Stoßverschiebung ca. 15 cm
	Hydrogeologische Werte	
	Gebirgsdurchlässigkeiten	$k_f = 2,8 \times 10^{-14}$ bis $9,0 \times 10^{-13}$ m/s --> Salinar dicht!
Frischwasserdruckhöhen	Hw = 157 - 461 m (theoretische Werte!)	
Gebirgsdurchlässigkeiten		
Prognose der Wasserzuflussmengen	Q = 0 m <sup>3</sup> /d	

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 75 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### 8 Bewertung der ermittelten Parameter hinsichtlich der Erstellung eines Schachtes

Im Folgenden werden die geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse hinsichtlich der Anforderungskriterien an die Erstellung eines Schachtes an der untersuchten Lokation bewertet.

Im ersten Teil wird dabei speziell auf die Bewertung hinsichtlich möglicher Teufverfahren, Gebirgsicherungen und den Schachtausbau eingegangen. Der Unterschied zwischen Gebirgssicherung und Schachtausbau ist in der unterschiedlichen Funktionsweise zu sehen. Die Gebirgssicherung hat die Funktion einer temporären Sicherung während der Erstellung des Schachtes, was durch Gebirgsvergütung (z.B. Injektion oder Gefrieren) oder/und Sicherung gegen Steinfall (z.B. Gebirgsanker, Injektion) erreicht wird. Der Schachtausbau hat die Funktion der endgültigen, dauerhaften Sicherung des Schachtes, um den erforderlichen Schachtquerschnitt permanent offen zu halten. Zu den Aufgaben des Schachtausbaus gehören die Verhinderung von Gebirgsverformungen durch Aufbringen eines ausreichenden Widerstandes gegen die horizontale Komponente des Gebirgsdruckes und den Gebirgswasserdruck sowie eine Abdichtung gegen mögliche Gebirgswasserzuflüsse.

Abschließend wird die Eignung der Lokation aus geologischer Sicht hinsichtlich der Mächtigkeit der Integritätsschicht gegen potentiell wasserführende Schichten im Deckgebirge bewertet.

Die ARGE weist darauf hin, dass die nachfolgenden Angaben und Erläuterungen zum Teufverfahren, zu gebirgssichernden Maßnahmen und zum Ausbau im Rahmen dieser Bewertung noch keine Planungsergebnisse darstellen, sondern lediglich die Machbarkeit und einige Möglichkeiten der Ausführung aufzeigen. Die hier dargestellten Ergebnisse fließen in die weiteren Planungen der ARGE Schacht Asse 5 ein und begründen die Anforderungen an den sich derzeit in Erstellung befindlichen standortabhängigen Teil der Konzeptplanungen für einen weiteren Schacht.

#### 8.1 Teufverfahren

Nach den vorausgegangenen Untersuchungen (siehe Sicherheits- und Nachweiskonzept /4/) sind das konventionelle Teufverfahren im Bohr- und Sprengvortrieb bzw. das Teufverfahren durch mechanisches Lösen mittels Fräs-/Teilschnittmaschinen geeignete Verfahren. Darüber hinaus kann eine teufenselektive Anwendung beider Schachtteufverfahren zielführend sein.

Mittels der Bohr- und Sprengtechnik ist nahezu jedes Festgestein beziehungsweise verfestigtes Lockergestein mit nicht plastischem Materialverhalten lösbar. Andererseits kann der Einsatz der Bohr- und Sprengtechnik im geringfesten, stark durchtrennten Gebirge Gebirgsauflockerungen verursachen, die das Risiko von Mehrausbruch durch Abgleiten bzw. Herausfallen von Gebirgskörpern erhöhen.

Im Vergleich zum Bohren und Sprengen ist das mechanische Lösen die gebirgsschonendere Gewinnungstechnik. Diese Technik kommt jedoch bei massigem Gestein mit höheren Gesteinsfestigkeiten an ihre Einsatzgrenzen.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 76 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Für das Lösen von Gestein mittels Schneid- und Frästechnik ist es günstig, wenn das Gebirge stark durchtrennt ist, viele Risse enthält und eine geringe Festigkeit aufweist, d.h. in der Regel eine einaxiale Druckfestigkeit unter 50 MPa. Gesteine mit hohen einaxialen Druckfestigkeiten und wenigen Trennflächen können neben der Bohr- und Sprengtechnik ebenfalls mit schlagenden Löseverfahren gewonnen werden. Die Anwendbarkeit eines mechanischen Lösewerkzeuges ist ebenfalls von der Art des Bruches des Gesteins und von der Abrasivität abhängig. Bei erhöhten Tonanteilen am Festgestein im Kontakt mit Wasser kann durch Plastifizierung und Zerfall (Schlamm-Bildung) das mechanische Lösewerkzeug verkleben.

Die wesentlichen geologischen Einflussparameter zur Beurteilung der Teufverfahren, insbesondere der Lösetechnik, sind nachfolgend zusammengestellt:

- Die Festigkeit der Gesteine.
- Das Trennflächengefüge.
- Die Auflockerung.
- Die Abrasivität bzw. der äquivalente Quarzanteil.
- Gebirgswasser (insbesondere bei erhöhten Tonanteilen am Gestein).

Ein mechanisches Löseverfahren im Teilschnittverfahren durch Verwendung einer Schachtfräse ist aufgrund der angetroffenen Gesteinsfestigkeiten, im Profil der Bohrung Remlingen 15 bis max. 50 MPa, technisch in Betracht zu ziehen. Die Schwierigkeit liegt darin, dass für einen effektiven Fräsvortrieb ausreichende Andruckkräfte auf den Fräskopf aufgebracht werden müssen. Um dies zu erreichen, muss die Schachtfräse bei mobiler Nutzung auf der Teufsohle ein ausreichendes Eigengewicht oder eine ausreichende Verspannung im Gebirge aufweisen. Eine weitere Forderung zum Einsatz der Schachtfräse besteht darin, den nachfolgenden Schachtausbau so zu dimensionieren, dass dieser u. a. als Widerlager zur Verspannung der Maschine dient.

Die Ergebnisse der Dilatometerversuche (Abbildung 13) im Deckgebirge haben geringe statische E-Moduli in verschiedenen Bereichen gezeigt, verursacht durch die z.T. hohe Anzahl an Trennflächen (Tabelle 2, Abbildung 4), was dem effektiven Einsatz eines solchen Verfahrens im Deckgebirge entgegensteht. Aufgrund der meist steilstehenden Schichtenfolge und der tektonischen Störungen, sowie durch häufige Festigkeitswechsel im Ausbruchquerschnitt des Schachtes, ist in der weiteren Planung eine Vorauswahl zwischen selektiv schneidendem Schachtteufbetrieb und angepassten Bohr- und Sprengarbeiten für die Teufen abhängigen lithologischen Gebirgsabschnitte sinnvoll zu treffen.

Aufgrund des verhältnismäßig geringen Platzangebotes im Schachtquerschnitt müssten klein bauende Teilschnittmaschinen oder Sonderkonstruktionen mit umlaufendem Schneid- und Ladearm eingesetzt werden. In Bereichen mit höherer Gesteinsfestigkeit besteht dann die Möglichkeit, die Teilschnittmaschine oder Sonderkonstruktion zusätzlich im Schachtstoß zu verspannen, um einen höheren Werkzeugandruck beim mechanischen Lösen des Gesteins zu erzeugen. Alternativ sollte bei Überschreiten der oberen Einsatzgrenze des mechanischen Löseverfahrens die Teilschnittmaschine oder Sonderkonstruktion von der Teufsohle auf die Arbeitsbühne umgesetzt werden oder unter die Arbeitsbühne gehängt werden. Die Gesteine in diesen Abschnitten müssen mit anderen Verfahren (z.B. Bohren und Sprengen oder schlagendes Verfahren) gelöst werden.

Im Steinsalz, in Tonsteinen, Mergel und weichen Kalksteinen liegen bereits positive praktische Erfahrungen beim Teufen mit Schachtfräsmaschinen vor (z.B. Schächte Gorleben/Deutschland, Schächte Palascherskij und Solikamsk in der südlichen Uralregion, Russische Föderation).

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 77 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Da am untersuchten Standort (Remlingen 15) z.B. im Salinar mehrere steilstehende, im Vergleich zum Steinsalz festere Anhydritschichten anstehen, die die Teufarbeiten über z.T. mehrere Zehnermeter begleiten, ist in diesen Bereichen möglicherweise ein Wechsel des Löseverfahrens oder des Lösewerkzeuges erforderlich.

Bei der Beurteilung des Vortriebs mittels Bohren und Sprengen ist von normal festem Gestein (25 – 50 MPa) und Gebirge mit wenig Trennflächen bis hin zu geringfesten Gesteinen (< 10 MPa einaxiale Druckfestigkeit) und mit einer hohen Anzahl an Trennflächen zu unterscheiden. Im oberen Teil des Deckgebirges (Unterer Muschelkalk) ist die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins meist hoch, die Festigkeit des Gebirges jedoch aufgrund der großen Anzahl an Trennflächen und der steilen Lagerung gering. Im Abschnitt des oberen Buntsandsteins wurden einaxiale Gesteinsfestigkeiten von < 30 MPa gemessen, die Anzahl der Trennflächen ist geringer als im ersten Abschnitt. Das Schicht-einfallen ist hier meist halbsteil und die Lagerungsverhältnisse nicht nennenswert günstiger. Das Residualgebirge und „Hutgestein“ sind stark brekziös und mit gemessenen einaxialen Druckfestigkeiten von < 20 MPa ebenfalls als gering fest zu bezeichnen. Geringe Gesteinsfestigkeiten können zur Verkürzung der Abschlagslängen, verminderter Teufleistung und Sondermaßnahmen hinsichtlich Stoßsicherung und Schachtausbau, sowie Mehrausbruch im Schachtquerschnitt führen.

Das Gebirge erscheint im geologischen Profil der Bohrung Remlingen 15 überwiegend für das Lösen im Bohr- und Sprengbetrieb geeignet. Aufgrund der geringen Gebirgsfestigkeiten ist in jedem Fall schonendes Sprengen, vor allem im Schachtkonturbereich erforderlich, um die Auflockerungen so gering wie möglich zu halten. In tektonischen Störungsbereichen (Tabelle 4) und Abschnitten mit sehr geringen Gebirgsfestigkeiten sind ggf. alternative Löseverfahren (z.B. manuelle Verfahren) nicht auszuschließen.

Aufgrund der meist steilen Lagerungsverhältnisse und z.T. wasserführenden Gebirgsabschnitte sind in jedem Fall vorausseilende gebirgssichernde und abdichtende Maßnahmen (z.B. Präzementation) und eine von der Teufsohle mitgeführte Gebirgssicherung einzuplanen.

Generell ist beim Durchteufen von wasserempfindlichen Gebirgsschichten (Salzgesteinen, Anhydriten, feinkörnigen Sedimentgesteinen) Wasserkontakt zu vermeiden.

## 8.2 Gebirgssichernde Maßnahmen

Gebirgssichernde Maßnahmen werden zur Stabilisierung und zur Wasserabdichtung des Gebirges während des Teufvorganges durchgeführt. Dazu zählt einerseits die Gebirgsvergütung mittels Injektions- oder Gefrierverfahren, andererseits die Sicherung gegen Steinfall mit Gebirgsankern oder Spritzbeton.

### Gebirgsvergütung

Gebirgsvergütende Maßnahmen werden zur temporären oder bleibenden Verfestigung und abschnittsweisen oder vollständigen Wasserabdichtung des Gebirges beim Teufen des Schachtes durchgeführt. Gebirgsvergütende Maßnahmen werden erforderlich:

- In Gebirgsbereichen mit einem ausgeprägten Trennflächengefüge mit mehreren Trennflächenscharen und offenen Trennflächen
- Bei zusätzlichen Auflockerungen

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 78 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

- Bei Wasserzutritten in besonders erosionsgefährdeten Gebirgsarten (z.B. Ton- und Schluffsteine, Evaporite)
- In Gebirgsabschnitten mit potentiell hoher Stoßschiebung infolge Plastifizierung.

Als temporäre Gebirgsvergütung und gegen Gebirgswasserzutritte sichere Methode ist hier das Gefrierverfahren zu nennen. Voraussetzungen sind ein ausreichender Wassergehalt im Gebirge (ab ca. drei Prozent) und begrenzte Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten (in der Regel kleiner drei Prozent wirksames Strömungsgefälle). Hohe Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten können z.B. bei wassergefüllten Karsthohlräumen oder potentiellen Kluftgrundwasserleitern auftreten. Da solche hydrogeologischen Situationen in der Remlingen 15 nicht nachgewiesen werden konnten und sich das Deckgebirge als unterschiedlich wasserführend darstellte, sind die Voraussetzungen für das Gefrierverfahren gegeben. Allerdings kann der Einsatz des Gefrierfahrens in Ton- oder Schluffschichten zu einer Gefügeänderung und somit generell zu zusätzlichen Auflockerungen in diesen Abschnitten führen. Die besten Voraussetzungen für den Einsatz des Gefrierfahrens zeigen sich im Muschelkalk (durchgehend wasserführend, keine Tonabschnitte). Hingegen sind die Verhältnisse im darunterliegenden Buntsandstein durch das Auftreten vorwiegend feinkörniger Sedimentgesteine (Schluffstein, toniger Schluffstein) als weniger geeignet einzustufen.

Anstelle der o.g. temporären Gebirgsvergütung stellt das Injektionsverfahren ein über die Teufphase hinaus wirkendes Verfestigungs- und Abdichtungsverfahren innerhalb des Gebirgstragringes dar. Injektionsmaßnahmen sind geeignet in Gebirgsabschnitten mit offenen, vernetzten Trennflächen, in aufgelockertem Gebirge infolge von Verwitterungsvorgängen und Gebirgsentspannungen beim Teufen sowie in wasserführenden Gebirgsschichten. Die Maßnahme versagt bei höheren Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten und Wasserdrücken und garantiert keine vollständige Wasserabdichtung im geplanten Ausbruchsquerschnitt. Da diese starken Wasserzutrittsbereiche in der Remlingen 15 nicht nachgewiesen werden konnten, ist eine Verfestigung bzw. Abdichtung des Gebirges mittel Injektionsverfahrens nach heutigem Stand möglich. Die Ergebnisse der Kluft- und Störungsanalysen (Tabelle 2, Tabelle 4) zeigen, dass Trennflächen im Gebirge vorhanden sind und somit Voraussetzungen für den Einsatz des Injektionsverfahrens gegeben sind. Dies gilt speziell für den Unteren Muschelkalk mit seiner hohen Anzahl an Trennflächen mit nachgewiesenen Öffnungsweiten bis zu 12 cm, wo beispielsweise durch Injektion von der Tagesoberfläche eine langfristige und dauerhafte Verfestigung des Gebirges erzielt werden kann. Deutlich weniger Trennflächen sind in den tonigen und schluffigen Gesteinen des Oberen Buntsandsteines dokumentiert. Auch wurden bei den hydraulischen Untersuchungen der Fa. Solexperts /10/ deutlich geringere Wasserzuflüsse nachgewiesen. Aus diesem Grund können Injektionsmaßnahmen auf Bereiche mit stärkerer Auflockerung oder Durchtrennung sowie Grundwasserzuflüssen (z.B. die Homogenabschnitte I und II, Tabelle 18 und Tabelle 19) beschränkt werden. Somit bietet sich hier die Injektion von der Teufsohle neben der Vorauserkundung im laufenden Teufbetrieb an. Dies gilt entsprechend für das Residualgebirge und das „Hutgestein“.

Im Salinar wurden einzelne Trennflächen lediglich in den Anhydritbänken festgestellt. Da diese Bereiche jedoch keine signifikanten Nachbrüche und auch keine Lösungszuflüsse im Bohrloch gezeigt haben, erscheint hier nach derzeitigem Stand keine Gebirgsvergütung erforderlich zu sein.

Anhand der Ergebnisse der Erkundungsbohrung Remlingen 15 kann somit generell festgehalten werden, dass sowohl das Gefrierverfahren mit garantierter Wasserabdichtfunktion beim Teufen als auch das Injektionsverfahren zur Vergütung des Gebirges im Deckgebirge eingesetzt werden können.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 79 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Stoßsicherung während des Teufens

Durch den Eingriff in das Gebirge beim Schachtteufen treten Spannungsumlagerungen auf, die zu einer Entspannung des Gebirges in Hohlraumnähe des Schachtausbruches führen. Dies kann eine Aktivierung von vorhandenen Trennflächen bzw. das Erzeugen von neuen Bruchflächen im Gebirge zur Folge haben. Dadurch kann es zur Bildung von Kluftkörpern kommen, die ohne eine geeignete Sicherung aus dem Gebirgsverband in den Schacht gleiten, kippen oder fallen können und somit ein hohes Sicherheitsrisiko darstellen. Eine Gebirgsvergütung mittels Injektion oder Gefrieren kann dazu beitragen, diesen Effekt ggf. zu verringern. Sie ist aber nicht in der Lage, speziell in nicht standfesten Bereichen, das Ausbilden von Kluftkörpern zu verhindern. Aus diesem Grund ist es erforderlich, das Gebirge in diesen Bereichen mit einer aktiven Stoßsicherung zu stabilisieren, um einerseits die Gebirgsverformungen zu kontrollieren, andererseits entstehende potentielle Kluftkörper im Gebirgsverband zu halten. Eine Gebirgssicherung kann, muss aber nicht die Verformung der Schachtstöße dauerhaft verhindern. Dies wird durch einen Schachtausbau mit einem von den Einwirkungen abhängigen ausreichenden Ausbauwiderstand einschließlich ausreichender Sicherheiten erreicht.

Weiterhin haben die Spannungsmessungen der Fa. MeSy-Solexperts gezeigt /11/, dass der Spannungszustand im Deckgebirge mit einem horizontalen Seitendruckverhältnis von ca. 0,66 anisotrop ist. Beim Teufen unter anisotropen Spannungsverhältnissen kommt es mit zunehmenden Abstand zur Teufsohle durch Spannungsumlagerungen zu ungleichmäßigen Gebirgsverformungen innerhalb des Gebirgstringringes. Dies würde im Fall, dass in diesem Abschnitt eine Ausbauschale eingebracht wird, zu einer ungleichförmigen Belastung über deren Umfang führen. Ein solcher Belastungszustand ist besonders kritisch, da der Beton zu Beginn des Einbringens noch nicht seine Endfestigkeit erreicht hat und somit durch die ungleichmäßige Belastung versagen kann. Deshalb ist es erforderlich, die ungleichförmigen Spannungen durch Erhalt oder Erhöhung der Eigentragfähigkeit des Gebirges in dem Bereich zwischen Schachtsohle und Einbau der gebirgsverbundenen Ausbauschale zu vergleichmäßigen.

Für stoßsichernde Maßnahmen werden üblicherweise Gebirgsanker, Verzugmatten und, falls erforderlich, Konsolidierungsbaustoffe verwendet.

Ein wesentliches Merkmal des Gebirges am Standort ist das Auftreten von steilstehenden Schichten sowohl im Deckgebirge als auch im Salinar (Abbildung 3). Weiterhin wurden im Deckgebirge eine Vielzahl an Trennflächen festgestellt (Tabelle 2). Die auf Basis der Auflockerung an den Bohrkernen (RQD-Wert) sowie anhand der Bohrlochwandausbrüche und Bohrlochverformung (nach Kalibermessungen) durchgeführte Bewertung der Standfestigkeit (Kapitel 4) zeigt für das Deckgebirge mehrere Abschnitte, in denen das Gebirge durchgehend als nicht oder nur temporär standfest ist (0-149 m; 232-443 m). Zwischen diesen Abschnitten wechselt das Gebirge mehrfach zwischen standfest, temporär standfest und nicht standfest. Aus diesen Gründen ist für den geplanten Schacht im Deckgebirge eine Stoßsicherung zwingend erforderlich. Wie sich diese zusammensetzt (Anker, Spritzbeton, Bewehrung) sowie deren konzeptionelle Dimensionierung ist Bestandteil der nächsten Planungsschritte.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

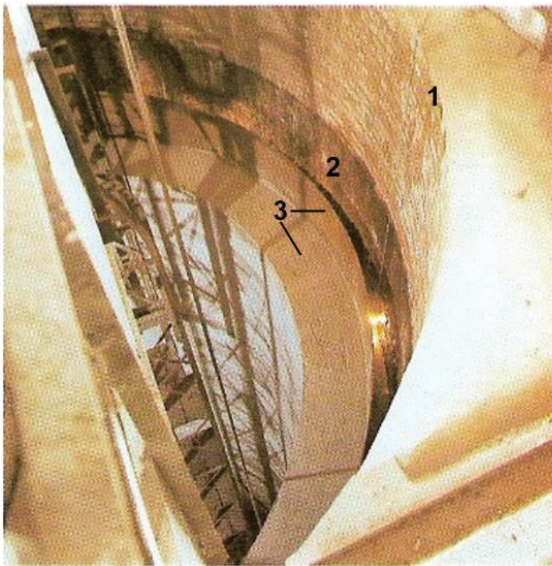
Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 80 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

## 8.3 Schachtausbau

### Deckgebirge

Im Rahmen des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes wurde der Gleitschachtausbau am Untersuchungsstandort der Bohrung Remlingen 15 zur Schachtauskleidung bis zum Übergang ins Salinar als Schachtausbauvariante festgelegt /4/. Abbildung 21 zeigt die Darstellung eines Gleitschachtausbaus.

#### Beispiel eines Gleitschachtausbaus



- 1 Außenausbau:**  
Betonformsteine und Spanplatten
- 2 Asphalt-Gleitschicht**
- 3 Innenausbau:**  
Stahlblech-Dichtmantel  
Betonmantel

**Abbildung 21: Darstellung der Elemente eines Gleitschachtausbaus**

Der gebirgsverbundene Außenausbau ist ein Teil des Gleitschachtausbaus. Der gleitende Innenausbau ist vom gebirgsverbundenen Außenausbau durch eine Flüssigkeitsschicht (i. allg. Bitumen/Asphalt) getrennt. Der Außenausbau ist demzufolge so zu dimensionieren, dass er in der Lage ist, sowohl dem Gebirgs- und ggf. Wasserdruck von außen als auch dem Flüssigkeitsdruck von innen durch die Gleitfuge einen ausreichenden Widerstand entgegenzusetzen, ohne seine Tragkraft zu verlieren. Demzufolge ist die Ausführung (z.B. Dicke, Festigkeit) des Ausbaus abhängig von dem Zustand des Gebirges (Gebirgsfestigkeit, Trennflächendichte, Quelldruck etc.) aber auch von den zu erwartenden Gebirgswasserdrücken sowie von den physikalischen Parametern der viskosen Gleitfugenflüssigkeit. Der Gleitschachtausbau muss in der Lage sein, ungleichförmige horizontale Einwirkungen der Gebirgsspannungen über die viskose Gleitfuge auf die Innenausbauenschale zu ver gleichmäßigen. Darüber hinaus stellt die Kombination mit einem verschweißten Stahlblechzylinder eine sichere Variante zur Abdichtfunktion des Schachtausbaus dar.

Das Gebirge wurde in verschiedenen Bereichen des Deckgebirges als bedingt bzw. nicht standfest eingestuft (Abbildung 16). Aus diesem Grund ist eine Außenschale mit einer ausreichenden Bemessung unabdingbar, um die zu erwartenden Gebirgsverformungen zu verhindern.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 81 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Entscheidend für die Dimensionierung sind dabei die Abschnitte mit Gebirgsschichten geringer Festigkeit sowie einer großen Anzahl von Trennflächen, da in diesen Bereichen die größten Verformungen erwartet werden. Zusätzlich sollte bei der Dimensionierung des Schachtausbaus das Auftreten von mögl. quellfähigen Schichten berücksichtigt werden. Mit Ausnahme des Bereiches von 430 m bis 440 m werden die im Deckgebirge angetroffenen Tone als nicht quellfähig eingestuft /5/, /13/. Eine nennenswerte Quellfähigkeit der Gesteine im Bereich des Gipses/Anhydrits wurden anhand der entnommenen Kernproben durch erste Laboruntersuchungen /5/ nicht festgestellt. Insbesondere im Bereich erhöhter Montmorillonit-Gehalte zwischen ca. 430 m und dem Salzspiegel sind Maßnahmen zur Verhinderung von Quelldrücken erforderlich.

In Teufenbereichen mit höheren einaxialen Druckfestigkeit des Gesteins und geringerer Trennflächendichte ist ggf. eine Reduzierung der Dicke der Außenschale oder der Festigkeitsklasse des Betons möglich.

Die Dimensionierung des Schachtausbaus erfolgt in den weiteren Planungsschritten.

### Salinar

Generell zeichnet sich das Salinar durch eine geringe Anzahl an Schicht- und Klufflächen aus (Kapitel 3.1). Diese beschränken sich ausschließlich auf die Anhydritbänke. Erste Abschätzungen haben ergeben, dass bei Festigkeiten des Steinsalzes von 30 MPa bzw. von anhydritischem Steinsalz in Höhe von ca. 45 MPa (Kurzzeitfestigkeit) das Salinar bis in Teufen von ca. 620 mT bzw. 960 mT ein elastisches Verhalten erwarten lässt (Kapitel 4.2). Aufgrund vorhandener Inhomogenitäten im Salinar ist jedoch eine Gebirgssicherung im gesamten Salinarbereich des Schachtes wahrscheinlich erforderlich. Nachteilig sind steil stehende Anhydritbänke im Nahbereich der Bohrung, die in der Bohrung aufgeschlossen und mittels Radar-Messungen festgestellt wurden. Zusätzlich wurden dünne Tonlagen an der Basis der Anhydrite festgestellt /28/. In diesen Bereichen ist mit erhöhtem Sicherungsaufwand zu rechnen, da dort die Ausbildung potentieller Kluffkörper nicht auszuschließen ist.

Rezente Salzlösungen wurden laut Daten der Bohrung Remlingen 15 nicht angetroffen. Es wurden keine größeren, durchgehenden Bereiche mit kalimineralführenden Schichten im Salinar angetroffen, was sich positiv auf die Tragfähigkeit des Gebirges auswirkt. Eine übliche Gebirgssicherung im Salinar, bestehend aus einer Systemankerung mit Netzverzug ist im Allgemeinen als Ausbau im Salinar ausreichend und Stand der Technik. Steil stehende Anhydritbänke sowie Zonen mit geklüftetem Anhydrit erfordern voraussichtlich einen höheren Sicherungs- und Ausbauaufwand.

Wie bereits erwähnt ist für das Deckgebirge ein Gleitschacht vorgesehen. Auf Basis der Analyse der Gebirgsverhältnisse (Klüftung, Gesteinsfestigkeiten, Wasserzutritte) ergibt sich, dass das hierfür benötigte Fundament für den Gleitschachtausbau unterhalb des Deckgebirges im oberen Teil der Salzstruktur mit ausreichendem Sicherheitsabstand zum Salzspiegel platziert werden kann. Wie bereits erwähnt stehen zwar auch hier steil stehende Anhydritbänke an, die sich auf das Fundament auswirken könnten. Durch geeignete gebirgssichernde Maßnahmen (z.B. Ankerung) erscheint eine Gründung des Fundamentes in diesem Bereich möglich. Für die Planung und Positionierung des Fundamentes für den Gleitschachtausbau ist nach entsprechender Stoßfreilage ein geologischer Entscheidungsbereich mit +/-15 m Teufe zu berücksichtigen.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 82 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Erstellung eines Schachtes inklusive Gebirgssicherung und Schachtausbau aus schachtbautechnischer Sicht in dem angetroffenen Gebirge durch geeignete technische Maßnahmen (Teuftechnik, Gebirgsvergütung und Abdichtung gegen Gebirgswasser, Schachtausbau etc.) im Erkundungsbereich der Bohrung Remlingen 15 als machbar bewertet werden kann.

### 8.4 Bewertung des Standortes hinsichtlich der Anforderungskriterien

Die wesentlichen Abweichungen zu den prognostizierten geologischen Verhältnissen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der mittlere Muschelkalk (Orbicularis Schichten) wird nur zwischen 49 mT und 53 mT, durch 2 Störungen begrenzt, angetroffen. An der Tagesoberfläche steht der Untere Muschelkalk an.
- Das Gebirge ist gekennzeichnet durch steil einfallende Gebirgsschichten und mehrere Störungen bzw. störungsähnliche Bereiche im Muschelkalk, im Buntsandstein können Störungen nicht ausgeschlossen werden.
- Das „Hutgestein“ mit Vergipsung erreicht in der Bohrung Remlingen 15 nur eine Mächtigkeit von 4,2 m, nicht 24 m, wie ursprünglich prognostiziert.
- Der Salzspiegel steht in einer Teufe von ca. 443,8 mT an.
- Im Salinar wurde das Staßfurt-Steinsalz Na<sub>2</sub> nicht erbohrt. Die Schichtenfolge besteht aus einer Abfolge aus Steinsalz und anhydritischem Steinsalz mit Lagen von steilstehenden Anhydritbänken. Untergeordnet wurden carnalititische Anteile im Steinsalz im unteren Bereich (Teufenbereich 682 mT bis ca. 770 mT) der Bohrung lokalisiert. Weiterführende Untersuchungen der BGR /28/ ergaben, dass die erbohrte Schichtenfolge im Salinar der Leine-Abfolge zuzuordnen ist. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Bohrung Remlingen 15 näher an der Flanke und somit an potentiell wasserführenden Schichten liegt, als in der Planung des Standortes prognostiziert.

Wie bereits in den Kapiteln 8.1-0 dargelegt, ist die Erstellung eines Schachtes aus schachtbautechnischer Sicht am untersuchten Standort mit herkömmlichen Teuf- und Ausbaurverfahren möglich.

Im Folgenden sollen die Anforderungskriterien, die für einen sicheren Bau und Betrieb des Schachtes im Rahmen der Ist-Analyse /2/ festgelegt wurden, auf Basis der Ergebnisse der Bohrung Remlingen 15 bewertet werden. Hier geht es im Wesentlichen um geforderte Sicherheitsabstände zu potentiell wasser- bzw. lösungsführenden Gesteinshorizonten sowie Fragen der Langzeitsicherheit (Schachtverfüllung). Gleichzeitig wird die Frage diskutiert, ob ausreichend Platz für neue Infrastrukturräume im Nahbereich des Schachtes vorhanden ist und ob weiterhin die Variante sinnvoll ist, Infrastrukturräume vom Bergwerk aus aufzufahren.

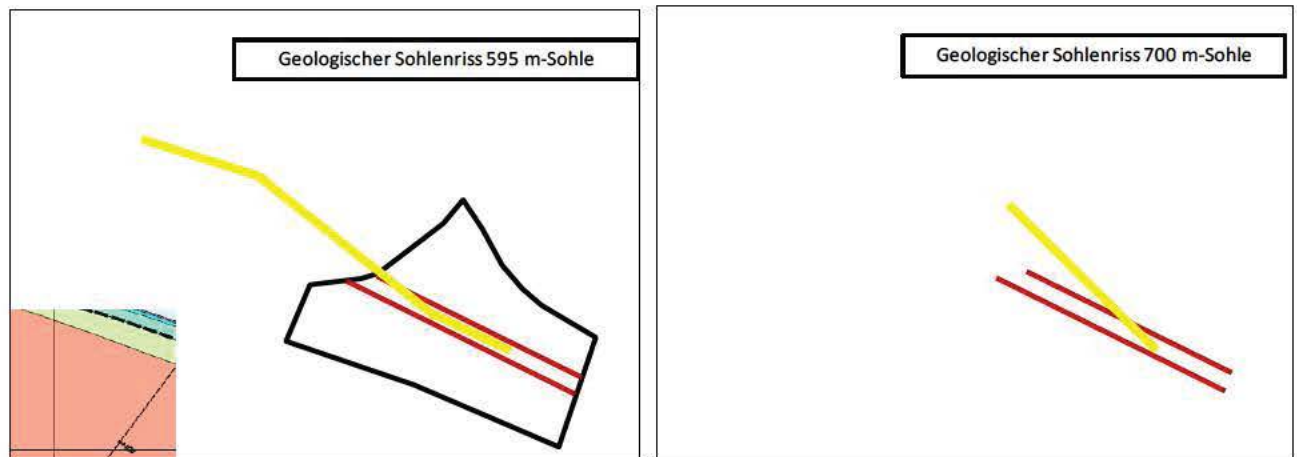
#### Auffahrung von Füllörter und Infrastrukturräumen

Im Rahmen der Ist-Analyse wurde im Jahre 2011 auf Basis des geologischen Risswerks der Asse-GmbH unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Aspekte (Festlegung von Sicherheitspfeiler gegen hydrologische Gefährdung, gegen schädliche Gebirgsbewegungen und Gebirgsdeformationen sowie um bestehende Streckensysteme des Grubengebäudes /2/, Kap. 4.2.) die Lage der Erkundungsbohrung Remlingen 15 und der geplante Schachtansatzpunkt festgelegt.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 83 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Die Planungen gehen derzeit von zwei Füllörtern zum Anschluss des geplanten Schachtes Asse 5 an die Schachtanlage Asse II aus. Dabei befindet sich ein Füllort im Niveau der 595-m-Sohle. Ein weiteres Füllort soll die 700-m-Sohle des Bergwerkes an den Schacht anbinden.



**Abbildung 22: Geologische Situation und Anschluss an das Grubengebäude auf der 595-m-Sohle (links) und der Anschluss an das Grubengebäude auf der 700-m-Sohle (rechts) /2/**

Auf Basis der verfügbaren Sohlengrundrisse /2/ wurden unter Annahme entsprechender Sicherheitspfeiler zu potenziell wasser- bzw. lösungsführenden Gesteinshorizonten mögliche Bereiche umrissen, in denen die Anlage von Füllortbereichen aus sicherheitstechnischer Sicht prinzipiell möglich ist.

Die Abbildung 22 zeigt die Lage des Bohransatzpunktes (östliches Ende der gelben Linie) bezogen auf die 595-m-Sohle (links) und auf die 700-m-Sohle (rechts). Die mögliche Fläche zur Erstellung eines Füllortes auf der 700-m-Sohle ist schwarz und auf der 595-m-Sohle rot umrandet dargestellt. Bei den Planungen wurde noch davon ausgegangen, dass beide Füllortbereiche im Staßfurt-Steinsalz ausgesetzt werden können. Die gelbe Linie markiert eine mögliche Anbindung der Füllörter auf beiden Sohlen.

Aus der Abbildung 22 wird deutlich, dass insbesondere im Niveau der 595-m-Sohle, die zur Verfügung stehende Fläche zur Anlage eines Füllortes bei Einhaltung der Abstände zum Nebengebirge nach den Anforderungen aus der Ist-Analyse /2/ sehr begrenzt ist. Diese Sicherheitsabstände sind von der stratigraphischen Einstufung des Salinars unabhängig.

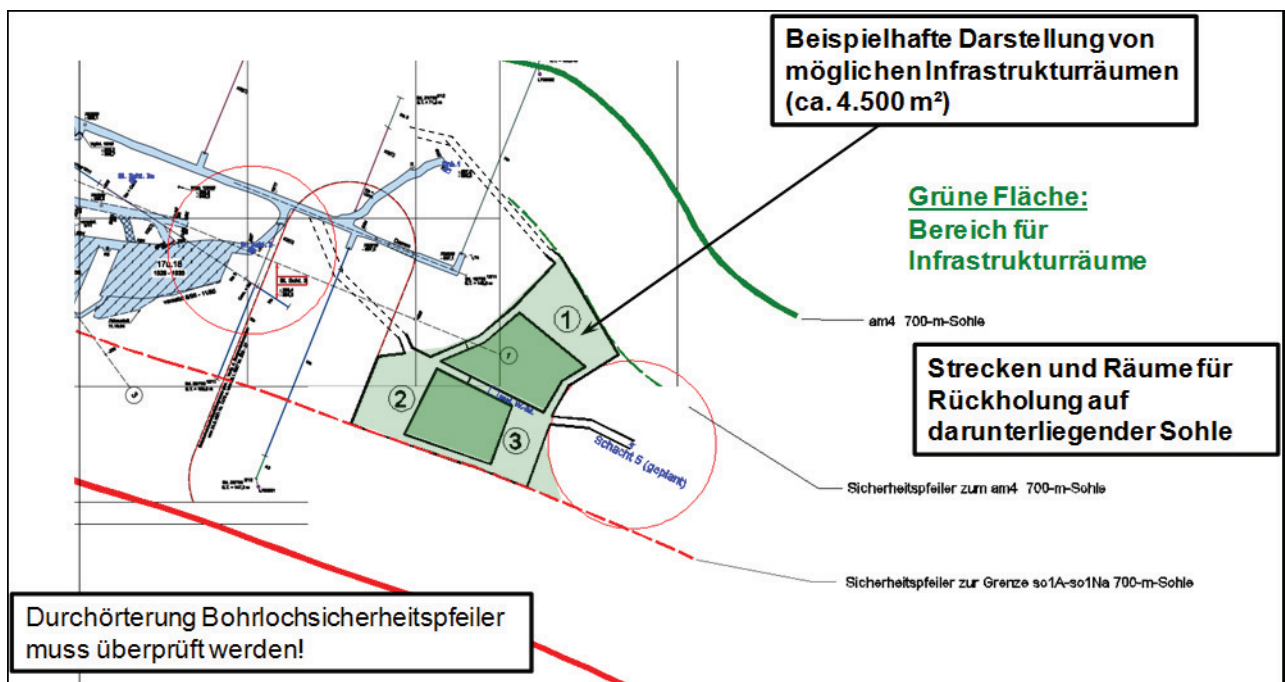


## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

### Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 84 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Die ermittelten Flächen wurden in 2 Varianten ebenfalls zur konzeptionellen Planung von möglichen Infrastrukturräumen in der Umgebung des Schachtes Asse 5 genutzt /20/. Abbildung 23 zeigt beispielhaft die Variante 2 mit einer möglichen Anordnung von Infrastrukturräumen um den Schacht Asse 5.



**Abbildung 23: Mögliche Anordnung von Infrastrukturräumen auf der 700-m-Sohle (Variante 2) /20/**

Die Erkundungsbohrung Remlingen 15 erbrachte gegenüber dem prognostizierten Lagerstättenprofil hinsichtlich Lithologie und Struktur signifikante Abweichungen. Die Bohrlochachse verläuft nicht, wie vorher prognostiziert, im Staßfurt-Steinsalz. Die geologischen Aufnahmen aber auch die durchgeführten EMR-Messungen (Radarmessungen) lassen die Vermutung zu, dass der Standort möglicherweise im bzw. in der Nähe des direkten Flankenbereiches der Sattelstruktur liegt. Da sich im Flankenbereich potenziell lösungsführende Horizonte befinden können, ist es nicht auszuschließen, dass die Abstände der geplanten Füllörter sowie Infrastrukturräume zu den potentiell lösungsführenden Schichten in den vorgesehenen Teufenbereichen gemäß den Anforderungskriterien aus der Ist-Analyse am derzeitigen Standort nicht eingehalten werden können.

In diesem Fall ist zu prüfen, inwieweit die angetroffenen Abstände trotzdem ausreichend sind (vgl. §224 ABVO /23/). Zu diesem Zweck ist ein Nachweis zu erbringen, der die Schutzwirkung des Integritätsbereichs zwischen Grubenräumen (Füllort, Infrastrukturräume) und potentiell lösungsführenden Schichten nachweist. Kann dieser Nachweis nicht geführt werden, so ist eine Verlegung des Schachtstandortes oder eine Verlagerung von Füllörtern bzw. Infrastrukturräumen in Bereiche (z.B. größere Teufe) erforderlich, in denen die Sicherheitsabstände ausreichend sind.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 85 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

Dazu ist es aber zwingend erforderlich, die Geometrie der Salzstruktur in der Umgebung des Standortes vom Grubengebäude aus bis zum Standort zu kennen. Zu diesem Zweck sind untertägige Erkundungsbohrungen (siehe /21/) unerlässlich. Angelehnt an dieses Konzept laufen bereits Erkundungsarbeiten im Bergwerk mit dem Ziel, die Geometrie der Salzstruktur zu erkunden und ein geologisches Modell zu erstellen. Auf Basis dieser Erkundungsmaßnahmen kann anschließend eine weiterführende Bewertung des Standortes vorgenommen werden. Hieraus können sich ggf. noch Umplanungen bzgl. genauer Lage und Endteufe des Schachtes, Lage der Füllörter und der erforderlichen Infrastrukturräume ergeben.

Die sich derzeit in Erstellung befindlichen standortabhängigen Teile der Konzeptplanungen für einen weiteren Schacht berücksichtigen die hier dargestellten Sachverhalte und betrachten anhand der Gegebenheiten und Randbedingungen der ausgewiesenen Homogenbereiche wie z.B.:

- die Gebirgsvergütung und Stoßsicherung beim Schachteufen,
- die zu bevorzugende Ausbautechnologie und
- die teufenbezogene Eignung der Löseverfahren bzw. Bereiche mit besonderen Anforderungen an die Stoßsicherung.

in den Planungen.



## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 86 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### 9 Literaturverzeichnis

- /1/ BfS (2011): Planungsstudie zur übertägigen geowissenschaftlichen Erkundung eines Schachtausgangspunktes der Schachtanlage Asse II. 127 S., 3 Abb., 1 Tab.; [unveröff. Bericht, Autoren: , 9A/23440000/GA/RA/0002/01]; Salzgitter.
- /2/ DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC (2011): Schachtanlage Asse II - Konzept- und Genehmigungsplanung für einen weiteren Schacht - Ist-Analyse - Schachtausgangspunkt. 134 S., 25 Abb., 28 Tab.; [unveröff. Bericht, erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/GA/RA/0003/00]; Essen.
- /3/ DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC (2012): Schachtanlage Asse II - Konzept- und Genehmigungsplanung für einen weiteren Schacht – Planung der Bohr- und Testarbeiten. 74 S., 4 Abb., 8 Tab.; [unveröff. Bericht, erstellt im Auftrag des BfS, 9A/35210000/GA/TQ/0002/00]; Essen.
- /4/ DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC (2014): Schachtanlage Asse II - Konzept- und Genehmigungsplanung für einen weiteren Schacht - Sicherheits- und Nachweiskonzept. 152 S., 3 Tab.; [unveröff. Bericht, erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/GA/TG/0001/00]; Essen.
- /5/ DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC (2015): Schachtanlage Asse II - Konzeptplanung für einen weiteren Schacht - Ergebnisbericht Remlingen 15. 331 S., 35 Abb., 71 Tab.; [unveröff. Bericht, erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/GA/RA/0009/00]; Essen.
- /6/ D. U. DEERE und D. W. DEERE (1988): The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice.
- /7/ K-UTEC AG (2015): Schachtanlage Asse II - Konzeptplanung für einen weiteren Schacht - Fotodokumentation zur Erkundungsbohrung Remlingen 15. 169 S., 1 Abb.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/HA/RB/0001]; Sondershausen, 2014.
- /8/ K-UTEC AG (2015): Schachtanlage Asse II - Konzeptplanung für einen weiteren Schacht - Schichtenverzeichnis (GeODin) für die Erkundungsbohrung Remlingen 15. 105 S., 2 Abb., 0 Tab.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/HA/RB/0002]; Sondershausen.
- /9/ Terratec (2014): „Bohrlochgeophysik in der Bohrung Remlingen 15,4L. 126 S., 0 Abb., 48 Tab.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/HF/RB/0011/00]; Heitersheim.
- /10/ Solexperts AG (2015): Abschlussbericht Hydraulisches Testing in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. 159 S., 30 Abb., 18 Tab.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/HGG/RB/0002/00]; Mönchaltorf.
- /11/ MeSy-Solexperts (2015): Abschlussbericht Hydraulische Spannungsmessungen in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. 129 S., 12 Abb., 6 Tab.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/HGG/RB/0003/00]; Bochum.
- /12/ IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH (2015): Ermittlung gebirgsmechanischer Parameter an Kernproben der Remlingen 15. 319 S., 26 Abb., 26 Tab.; [unveröff. Bericht, erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/GCA/RB/0002/00]; Leipzig.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 87 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

- /13/ IBeWa Ingenieurpartnerschaft (2015): Abschlussbericht zu den Untersuchungen zur Zusammensetzung und zum Quellvermögen toniger Proben (Oberer Buntsandstein) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. 247 S., 10 Abb., 7 Tab.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/HD/RB/0002/00]; Freiberg.
- /14/ IBeWa Ingenieurpartnerschaft (2015): Abschlussbericht zu den strömungstechnischen Untersuchungen an verschiedenen Proben aus dem Oberer Buntsandstein der Erkundungsbohrung Remlingen 15. 482 S., 15 Abb., 10 Tab.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/HGG/RB/0004/00]; Freiberg.
- /15/ IBeWa Ingenieurpartnerschaft (2014): „Abschlussbericht zu den mikropaläontologischen Untersuchungen (Muschelkalk) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 163 S. 28 Abb., 4 Tab.; Freiberg [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HS/RB/0001/00]“.
- /16/ IBeWa Ingenieurpartnerschaft (2014): „Abschlussbericht zu den Untersuchungen zum Phasenbestand an siliziklastischen Proben (Oberer Buntsandstein) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 205 S., 211 Abb., 6 Tab.; Freiberg [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HD/RB/0001/00]“.
- /17/ IBeWa Ingenieurpartnerschaft (2014): „Abschlussbericht zu den mikropaläontologisch-stratigrafischen Untersuchungen (Oberer Buntsandstein) in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. Bundesamt für Strahlenschutz, 63 S., 12 Abb., 4 Tab.; Freiberg, [unveröff. Bericht, 9A/23440000/HS/RB/0002/00]“.
- /18/ Solexperts AG (2015): „Abschlussbericht zu den Dilatometermessungen in der Erkundungsbohrung Remlingen 15. 152 S., 33 Abb., 40 Tab.; [unveröff. Bericht, mittelbar erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/GCB/RB/0002/00]; Mönchaltorf.
- /19/ BIENAWSKI, Z.T. (1989): Engineering rock mass classification; New York: Wiley.
- /20/ DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC (2013): Schachtanlage Asse II - Konzeptplanung für einen weiteren Schacht – Neue Infrastrukturräume und Anschluss an Schacht Asse 5. 38 S., 11 Abb., 1 Tab.; [unveröff. Bericht, erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/GA/TF/0001/00]; Essen.
- /21/ DMT, THYSSEN SCHACHTBAU, K-UTEC (2011): Schachtanlage Asse II - Konzept- und Genehmigungsplanung für einen weiteren Schacht – Untertägiges Erkundungskonzept für die Füllortniveaus im ausgewählten Schachtansatzbereich. 11 S., 0 Abb., 0 Tab.; [unveröff. Bericht, erstellt im Auftrag des BfS, 9A/23440000/GA/RA/0006/00]; Essen.
- /22/ Asse GmbH (2016): Ergebnisbericht: Geophysikalische Erkundung der Erkundungsbohrung Remlingen 15, 4. Loch, gerichtetes Bohrlochradar. 45 S., 4 Abb., 7 Anh.; [unveröff. Bericht, 9A/55210000/GEO/HF/BW/0001/01]; Remlingen.
- /23/ Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen (ABVO).
- /24/ G.d.t.N.G. (1993): „Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (A.F.T.E.S.), Texte des recommandations pour une description des massifs rocheux utile à l'étude de la stabilité des ouvrages souterrains. Tunnels et ouvrages souterrains, supplément au No117, 1993.“
- /25/ Pahl, A. (1984), Empfehlung Nr. 8 des Arbeitskreises 19 - Versuchstechnik Fels - der deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau E.V.: Dilatometerversuche in Felsbohrungen; Bautechnik 4/1984 109-111.

## Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 88 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

- /26/ Hekel, U.; Odenwald, B. (2012): Bohrlochversuche zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit von Fels. BAW-Mitteilungen Nr. 95.
- /27/ DIN 18130 Teil 1 (Mai 1998): Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts; Laborversuche.
- /28/ Pollok, L. et al. (2016): Geowissenschaftliche Ergebnisse zu den Salinargesteinen der Erkundungsbohrung Remlingen 15 – Zwischenbericht, Hannover (BGR).

**Schachanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht  
Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15**

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 89 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

## 10 Anhänge

### Anhang 1:

## Übersicht der schachtbautechnisch relevanten Parameter und Daten

Schichtlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht  
Bewertung der Erkundungsbohrung Remlingen 15  
Ausbauabschnitt relevante Gebirgszonen

PROJEKT	PROJEKT-NR.	PROJEKT-NR.	PROJEKT-NR.	PROJEKT-NR.	PROJEKT-NR.
0001	0002	0003	0004	0005	0006
0007	0008	0009	0010	0011	0012
0013	0014	0015	0016	0017	0018
0019	0020	0021	0022	0023	0024
0025	0026	0027	0028	0029	0030
0031	0032	0033	0034	0035	0036
0037	0038	0039	0040	0041	0042
0043	0044	0045	0046	0047	0048
0049	0050	0051	0052	0053	0054
0055	0056	0057	0058	0059	0060
0061	0062	0063	0064	0065	0066
0067	0068	0069	0070	0071	0072
0073	0074	0075	0076	0077	0078
0079	0080	0081	0082	0083	0084
0085	0086	0087	0088	0089	0090
0091	0092	0093	0094	0095	0096
0097	0098	0099	0100	0101	0102
0103	0104	0105	0106	0107	0108
0109	0110	0111	0112	0113	0114
0115	0116	0117	0118	0119	0120
0121	0122	0123	0124	0125	0126
0127	0128	0129	0130	0131	0132
0133	0134	0135	0136	0137	0138
0139	0140	0141	0142	0143	0144
0145	0146	0147	0148	0149	0150
0151	0152	0153	0154	0155	0156
0157	0158	0159	0160	0161	0162
0163	0164	0165	0166	0167	0168
0169	0170	0171	0172	0173	0174
0175	0176	0177	0178	0179	0180
0181	0182	0183	0184	0185	0186
0187	0188	0189	0190	0191	0192
0193	0194	0195	0196	0197	0198
0199	0200	0201	0202	0203	0204
0205	0206	0207	0208	0209	0210
0211	0212	0213	0214	0215	0216
0217	0218	0219	0220	0221	0222
0223	0224	0225	0226	0227	0228
0229	0230	0231	0232	0233	0234
0235	0236	0237	0238	0239	0240
0241	0242	0243	0244	0245	0246
0247	0248	0249	0250	0251	0252
0253	0254	0255	0256	0257	0258
0259	0260	0261	0262	0263	0264
0265	0266	0267	0268	0269	0270
0271	0272	0273	0274	0275	0276
0277	0278	0279	0280	0281	0282
0283	0284	0285	0286	0287	0288
0289	0290	0291	0292	0293	0294
0295	0296	0297	0298	0299	0300
0301	0302	0303	0304	0305	0306
0307	0308	0309	0310	0311	0312
0313	0314	0315	0316	0317	0318
0319	0320	0321	0322	0323	0324
0325	0326	0327	0328	0329	0330
0331	0332	0333	0334	0335	0336
0337	0338	0339	0340	0341	0342
0343	0344	0345	0346	0347	0348
0349	0350	0351	0352	0353	0354
0355	0356	0357	0358	0359	0360
0361	0362	0363	0364	0365	0366
0367	0368	0369	0370	0371	0372
0373	0374	0375	0376	0377	0378
0379	0380	0381	0382	0383	0384
0385	0386	0387	0388	0389	0390
0391	0392	0393	0394	0395	0396
0397	0398	0399	0400	0401	0402
0403	0404	0405	0406	0407	0408
0409	0410	0411	0412	0413	0414
0415	0416	0417	0418	0419	0420
0421	0422	0423	0424	0425	0426
0427	0428	0429	0430	0431	0432
0433	0434	0435	0436	0437	0438
0439	0440	0441	0442	0443	0444
0445	0446	0447	0448	0449	0450
0451	0452	0453	0454	0455	0456
0457	0458	0459	0460	0461	0462
0463	0464	0465	0466	0467	0468
0469	0470	0471	0472	0473	0474
0475	0476	0477	0478	0479	0480
0481	0482	0483	0484	0485	0486
0487	0488	0489	0490	0491	0492
0493	0494	0495	0496	0497	0498
0499	0500	0501	0502	0503	0504
0505	0506	0507	0508	0509	0510
0511	0512	0513	0514	0515	0516
0517	0518	0519	0520	0521	0522
0523	0524	0525	0526	0527	0528
0529	0530	0531	0532	0533	0534
0535	0536	0537	0538	0539	0540
0541	0542	0543	0544	0545	0546
0547	0548	0549	0550	0551	0552
0553	0554	0555	0556	0557	0558
0559	0560	0561	0562	0563	0564
0565	0566	0567	0568	0569	0570
0571	0572	0573	0574	0575	0576
0577	0578	0579	0580	0581	0582
0583	0584	0585	0586	0587	0588
0589	0590	0591	0592	0593	0594
0595	0596	0597	0598	0599	0600
0601	0602	0603	0604	0605	0606
0607	0608	0609	0610	0611	0612
0613	0614	0615	0616	0617	0618
0619	0620	0621	0622	0623	0624
0625	0626	0627	0628	0629	0630
0631	0632	0633	0634	0635	0636
0637	0638	0639	0640	0641	0642
0643	0644	0645	0646	0647	0648
0649	0650	0651	0652	0653	0654
0655	0656	0657	0658	0659	0660
0661	0662	0663	0664	0665	0666
0667	0668	0669	0670	0671	0672
0673	0674	0675	0676	0677	0678
0679	0680	0681	0682	0683	0684
0685	0686	0687	0688	0689	0690
0691	0692	0693	0694	0695	0696
0697	0698	0699	0700	0701	0702
0703	0704	0705	0706	0707	0708
0709	0710	0711	0712	0713	0714
0715	0716	0717	0718	0719	0720
0721	0722	0723	0724	0725	0726
0727	0728	0729	0730	0731	0732
0733	0734	0735	0736	0737	0738
0739	0740	0741	0742	0743	0744
0745	0746	0747	0748	0749	0750
0751	0752	0753	0754	0755	0756
0757	0758	0759	0760	0761	0762
0763	0764	0765	0766	0767	0768
0769	0770	0771	0772	0773	0774
0775	0776	0777	0778	0779	0780
0781	0782	0783	0784	0785	0786
0787	0788	0789	0790	0791	0792
0793	0794	0795	0796	0797	0798
0799	0800	0801	0802	0803	0804
0805	0806	0807	0808	0809	0810
0811	0812	0813	0814	0815	0816
0817	0818	0819	0820	0821	0822
0823	0824	0825	0826	0827	0828
0829	0830	0831	0832	0833	0834
0835	0836	0837	0838	0839	0840
0841	0842	0843	0844	0845	0846
0847	0848	0849	0850	0851	0852
0853	0854	0855	0856	0857	0858
0859	0860	0861	0862	0863	0864
0865	0866	0867	0868	0869	0870
0871	0872	0873	0874	0875	0876
0877	0878	0879	0880	0881	0882
0883	0884	0885	0886	0887	0888
0889	0890	0891	0892	0893	0894
0895	0896	0897	0898	0899	0900
0901	0902	0903	0904	0905	0906
0907	0908	0909	0910	0911	0912
0913	0914	0915	0916	0917	0918
0919	0920	0921	0922	0923	0924
0925	0926	0927	0928	0929	0930
0931	0932	0933	0934	0935	0936
0937	0938	0939	0940	0941	0942
0943	0944	0945	0946	0947	0948
0949	0950	0951	0952	0953	0954
0955	0956	0957	0958	0959	0960
0961	0962	0963	0964	0965	0966
0967	0968	0969	0970	0971	0972
0973	0974	0975	0976	0977	0978
0979	0980	0981	0982	0983	0984
0985	0986	0987	0988	0989	0990
0991	0992	0993	0994	0995	0996
0997	0998	0999	1000	1001	1002
1003	1004	1005	1006	1007	1008
1009	1010	1011	1012	1013	1014
1015	1016	1017	1018	1019	1020
1021	1022	1023	1024	1025	1026
1027	1028	1029	1030	1031	1032
1033	1034	1035	1036	1037	1038
1039	1040	1041	1042	1043	1044
1045	1046	1047	1048	1049	1050
1051	1052	1053	1054	1055	1056
1057	1058	1059	1060	1061	1062
1063	1064	1065	1066	1067	1068
1069	1070	1071	1072	1073	1074
1075	1076	1077	1078	1079	1080
1081	1082	1083	1084	1085	1086
1087	1088	1089</			



**Schachanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht  
Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15**

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 91 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

## **Anhang 2:**

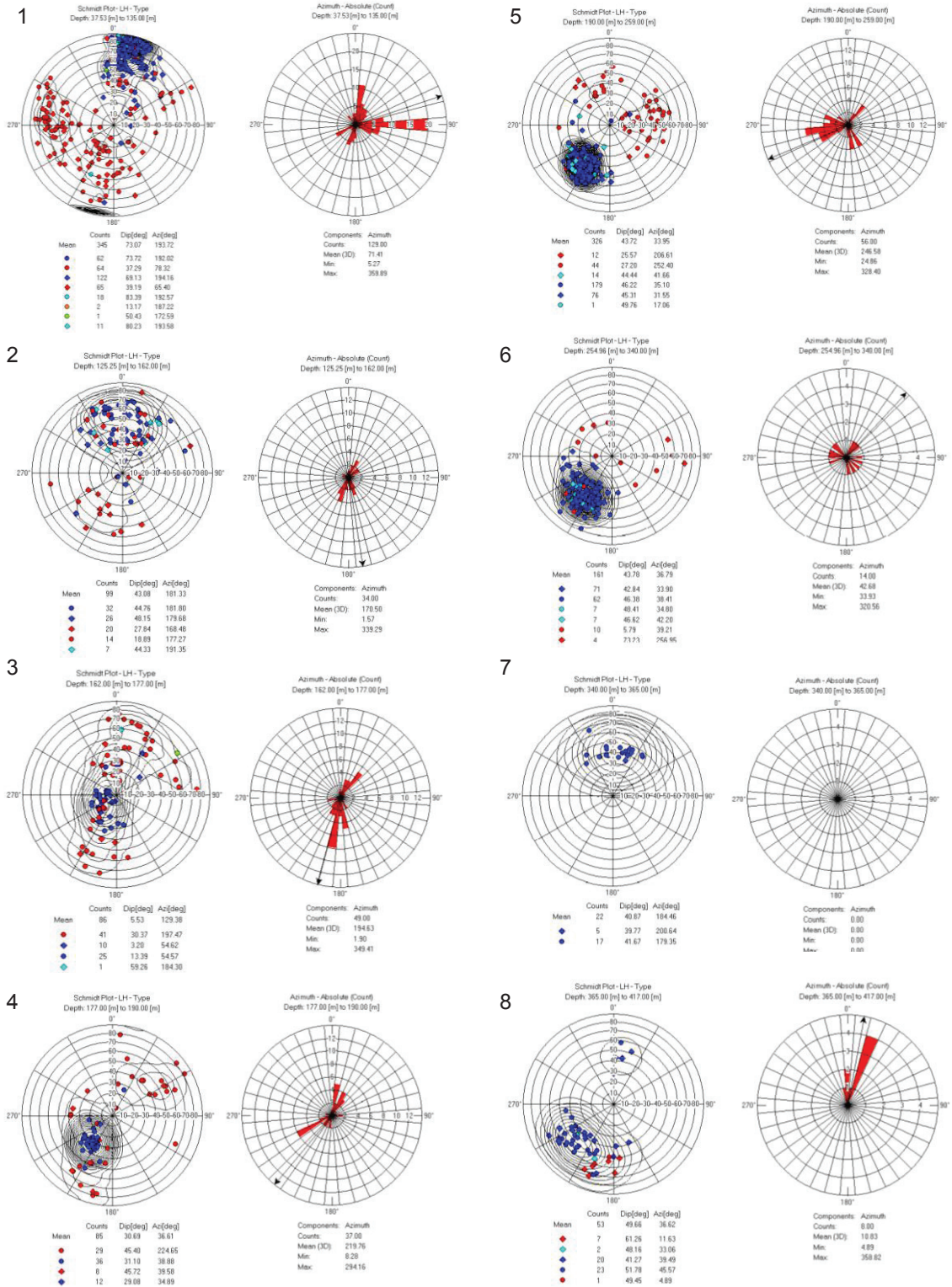
# **Stereografische Gefügedarstellung - Detaillierte Einteilung des Gefüges der Remlingen 15 in Homogenabschnitte**

# Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

## Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 92 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Anhang 2: Abschnitte 1-8

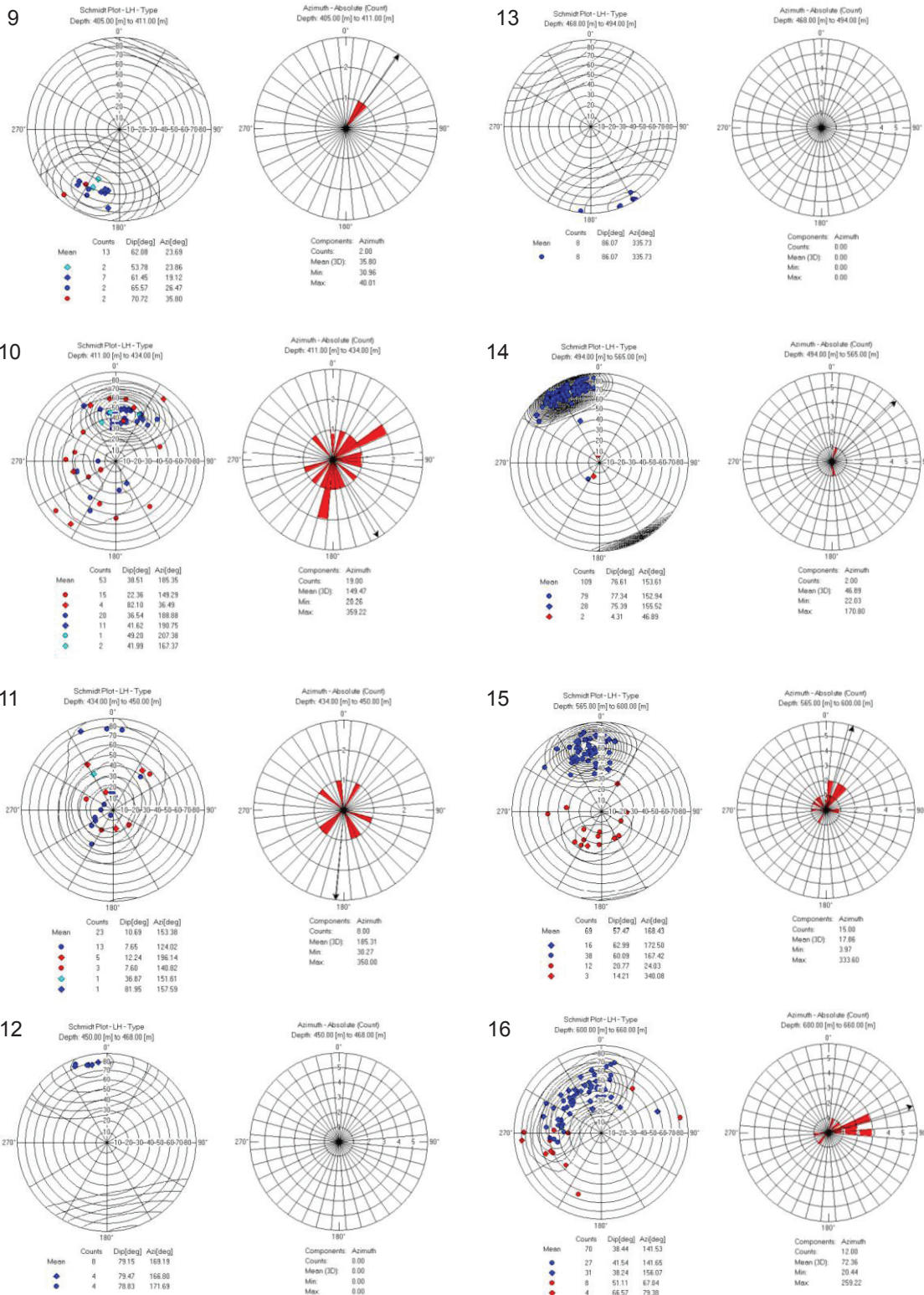


# Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

## Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 93 von 94
NAAN	NNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Anhang 2: Abschnitte 9-16





# Schachtanlage Asse II: Konzeptplanung für einen weiteren Schacht

## Bewertung der Erkundungsergebnisse Remlingen 15

Projekt	PSP-Element	Auf-	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite 94 von 94
NAAN	NNNNNNNN	<del>AAA</del>	AA	NNNN	NN	
9A	23440000	GA	RB	0002	00	Stand: 05.04.2018

### Anhang 2: Abschnitte 17-18

